



*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA.
RECINTO UNIVERSITARIO "RUBEN DARIO".
R.U.R.D.
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENTERIAS.
UNAN—MANAGUA*



“USO DE GEOTEXTILES EN DISENOS DE CARRETERAS”

*Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil*

Tutor:
Msc.Ing. Evert A. López Aguirre

Elaborada por:

Br. Iris D. Bolaños Monge.
Br. Karen Tatiana Ortega Rojas.
Br. Vilma Beatriz Polanco Espinoza.

Abril, 2009



DEDICATORIA

A Nuestro Padre Dios, quien es nuestro creador y guía en la vida, por darme la fortaleza, dedicación y sabiduría para enfrentarme a todas las dificultades y problemas en el transcurso de mi carrera y llegar a cumplir mi meta al graduarme como Ingeniera Civil.

A mi madre Sra. Teresa de Fátima Monge Cordonero, por brindarme su apoyo incondicional, su amor y cariño, quien siempre me guio por el buen camino gracias a su esfuerzo soy una profesional.

A mi Mamita Sra. Juana del Carmen Cordonero Brizuela (q.en.p.d), por darme su comprensión y animarme para seguir luchando en los momentos difíciles.

A mi novio Msc. Wilfredo Calderón C de quien siempre he recibido apoyo, respeto y amor desde el inicio de mi carrera para cumplir mi meta en este largo camino.

A todos mis familiares y amigos que en ciertos momentos me brindaron su apoyo y dedicación.

Gracias a todos, por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos.

IRIS BOLAÑOS M



DEDICATORIA

Dedico primeramente a Dios, por haberme infundido el aliento y las fuerzas necesarias para culminar mis estudios, por las innumerables dádivas recibidas, por haber colocado estratégicamente a las personas indicadas a lo largo del camino y por las fehacientes muestras de amor y compañía.

A mi mama Lic. Albertina Rojas, por sus invaluable consejos y esfuerzos para formar a la persona que soy y por su incansable lucha de sacarme adelante y ser un ejemplo noble.

A mi papa Lic. Francisco Ortega, por haberme enseñado que la perseverancia, constancia, determinación, seguridad y fé en uno mismo son las claves del éxito, ya que siempre voy a encontrar que la oscuridad es más densa antes de amanecer.

A mi prima Ing. Damaris Rocha Ortega, por haberme apoyado en todos los aspectos durante estos años e instado a perseverar para culminar mi carrera.

A mi amigo Lic. David García, por sus sabios consejos y por brindarme su apoyo incondicional.

Enarbolo la bandera de gratitud y cariño a mi tía Piedad de Tijerino, de la cual también recibí apoyo para cristalizar satisfactoriamente el sueño de concretar mi carrera.

A mis abuelitas Anastasia Hurtado y Rosa Ortega, a la memoria de mi abuelito Gerardo Rojas que me brindaron su apoyo e insistieron siempre en que era lo mejor para mí.

A mis hermanos, tíos(as), primos (as), amigos(as), quienes han sido mi brújula mientras he navegado en el mar embravecido del aprendizaje y por ser el constante estímulo que motivo mis deseos de aprender y en especial a mi sobrinito Jorge Mauricio que aun con su corta edad, inocencia y ternura me hace sentir bien y renueva mis energías y me insta a seguir adelante sin cansarme.

Al Ing. Wilfredo Amaya Rizo También dedico mi trabajo monográfico quien me brindo su apoyo incondicional en la última etapa de mi carrera demostrándome respeto, afecto y cariño.

A mis amigos (as) Ingrid Rivas, Jency Castro, Vilma Polanco, Arnoldo Flores y Samuel Sevilla por dedicarme tiempo y afición.

A mis profesores por la generosidad con que prodigan sus conocimientos, y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron directa e indirectamente con la coronación de mis estudios.

Karen Ortega.



DEDICATORIA

Es un grato honor para mí culminar esta importante faceta de mi vida, la cual dedico a todos aquellos que estuvieron apoyándome directa e indirectamente en especial:

A Dios, por ser mi creador, mi guía, mi consuelo en los momentos difíciles que me toco atravesar en mis años universitarios; a quien debo todo cuanto tengo y cuanto soy, quien nunca me desampara.

A mi mama Lic. Emilse Espinoza y a mi papa Dr. Marvin Polanco, por darme la vida, por el empeño que siempre tuvieron por verme superada, por los años y tiempo que dedicaron a mi formación. Les agradezco por sus consejos y por el gran apoyo que me dieron a pesar de las circunstancias, en especial a mi madre que me ha dado el mejor de los ejemplos, para mí una buena madre, una gran amiga, una gran mujer.

A mi pequeña Lais Beatriz, la fuerza que me impulsa a mejorar cada día, mi hija, mi amiga, mi gran compañera. No es fácil ser madre y estudiante al mismo tiempo; sin embargo a Dios le debo las energías que me daba a diario para enfrentarme a ambas responsabilidades. Para mí, mi hija no fue un obstáculo sino la luz que ilumino mi buen andar.

A mi hermano Ing. Christiam Javier, el compañero de toda mi vida, mi sostén, mi amigo, en quien encuentro confianza y paz en los momentos tormentosos, quien me empuja cuando mis fuerzas no dan más.

A mi esposo Luis Enrique Gutiérrez, por todo el apoyo, paciencia y amor que me brindo para poder culminar esta etapa de mi vida.

A mis abuelitas Martha Beatriz Cuadra quien partió dejando un gran vacío en mi corazón, pero muchos legados en mi vida y María Vilma Ruiz quien me ha brindado amor y me ha dado lo mejor de sus consejos. Dos mujeres de gran valor, ejemplares, dos grandes luceros en la vida de toda una familia.

A mis parientes y amigos; Dina y Baris Polanco, Marvin y Shirley Espinoza, Zoila Valle, Dora Pérez, Karen Ortega, Erick García, Arnoldo Flores quienes fueron parte esencial en este largo pero noble camino.

Vilma Polanco.



AGRADECIMIENTOS

En la culminación de nuestro trabajo Monográfico queremos agradecerle a nuestro Dios por mantenernos con vida hasta este momento y por habernos abierto el camino para culminar un logro más, además de poner a excelentes personas en este trayecto de largos pero valiosos años universitarios.

Agradecemos a:

Nuestro profesor y Guía MSc. Evert A. López Aguirre por su colaboración, comprensión y paciencia; quien puso todo su empeño para titular a estudiantes de calidad, enseñando con firmeza que el valor de la persona es por lo que sabe y no por lo que tiene.

Al Ing. Moisés Mccrea por su valioso apoyo y gran colaboración, quien nos presto horas de su tiempo demostrando siempre empatía e interés por nuestro trabajo, de igual manera se le agradece por la información que no duda en brindar.

Al profesor MSc. Wilfredo Calderón C. a quien se le agradece el tiempo y apoyo brindado en el periodo de investigación además de transmitirnos sus conocimientos y experiencias ayudándonos a mejorar día con día.

A profesora MSc. Pilar A. Marin Ruiz por todos sus consejos, apoyo y tiempo brindado con paciencia y eficacia.

No podemos olvidar ni dejar de agradecer a nuestra Alma Mater UNAN-Managua y su cuerpo docente, especialmente a todos nuestros queridos profesores de la Carrera de Ingeniería Civil por transmitirnos siempre sus conocimientos.

Gracias, Que Dios los bendiga y les retribuya el tiempo que nos dedicaron.

Irís, Karen, Vilma



INDICE

Contenido.....	# Pagina
Capítulo I ...Introducción	8
1. Introducción	9
1.1 Generalidades	11
1.2 Objetivos	12
1.3 Justificación	13
 Capítulo II ...Estudios de Ingeniería	 14
2.1 Estudio de Suelo	15
2.2 Estudio de Estructura de Pavimento	21
2.3 Estudio Geométrico	27
2.4 Estudio Topográfico	29
2.5 Estudio de Tránsito	30
2.6 Estudio Ambiental	32
 Capítulo III ... Geotextiles	 35
3.1 Introducción	36
3.2 Definiciones Generales	36
3.3 Tipos de Geotextiles	39
3.4 Funciones de Geotextiles	41
3.5 Beneficios de Geotextiles	49
3.6 Clasificación según su composición	50
3.7 Procedimiento de fabricación	50
3.8 Secuencia de Instalación	54
3.9 Casos mas comunes	56
3.10 Análisis de Vías con Geotextiles	60
 Capítulo IV ... Exploración y Diseño	 64
4.1 Desarrollo	65
4.2 Uso de Geotextiles como Refuerzo	65
4.3 Procedimiento sin Geotextil	66
4.4 Procedimiento con Geotextil	67
 Capítulo V... Estudio Comparativo	 70
5.1 Aforo de tránsito	71
5.2 Nivel de Servicio	72
5.3 Resultados de los Estudios de Suelos	76
5.4 Clasificación de los Suelos	79
5.5 Esal de Diseño	84
5.6 Cálculo del Diseño de Carretera sin Geotextil	85
5.7 Cálculo del Diseño de Carretera con Geotextil	86
5.8 Presupuesto de Costos	91
 Capítulo VI ... Conclusiones	 93
6.1 Conclusiones	94
6.2 Recomendaciones	95
6.3 Limitaciones	96
6.5 Bibliografía	98
 Anexos	 99



INDICE

Contenido.....# Pagina

FIGURAS

1. Estructura de Pavimento Flexible	24
2. Aplicaciones de Geotextiles no tejidos	39
3. Uso de Geotextiles en drenaje	44
4. Reducción de espesores	44
5. Incremento de la capacidad portante	44
6. Fibras usadas en la elaboración de Geotextiles según tipo de fibra	50
7. Fibras usadas en la elaboración de Geotextiles según el estilo de tejido	51
8. Traslapos requeridos	51
9. Beneficios de Geotextiles en taludes de terraplenes	55
10. Efectos positivos del Geotextil en las vías	57
11. Diseño sin Geotextil	80
12. Representación de disminución de espesores	83

TABLAS

1. Coeficientes de capa de superficie de rodamiento	25
2. Coeficiente de drenaje	25
3. Niveles de Confiabilidad	26
4. Nivel de Servicio	28
5. Rangos de Pendientes	29
6. Esal según el trafico	31
7. Factor de seguridad	45
8. Criterio de Supervivencia	47
9. Uso del tipo de Geotextil según el caso	64
10. Aforo de transito	66
11. Nivel de Servicio	67
12. Relación v/c del nivel de Servicio	68
13. Separación Direccional	68
14. Factor de ajuste de hombro	68
15. Estudio de Suelos	70
16. Informe de Pruebas	72
17. Esal de diseño	78
18. Especificaciones de diseño sin Geotextil	80
19. Especificaciones de diseño 1 con Geotextil	81
20. Especificaciones de diseño 2 con Geotextil	81
21. Especificaciones de diseño 3 con Geotextil (final)	82

ABREVIATURAS

CBR	California Bearing Ratio
HRB	Highway Road Buro (Sistema de clasificación del departamento de caminos públicos)
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos
ASTM	Sociedad Americana para la prueba de materiales
AASHTO	



CAPITULO I

Introducción





INTRODUCCIÓN

El uso de los geosintéticos en América Latina ha tenido en los últimos años un gran incremento respondiendo a una necesidad que cada vez se hace más crítica en los proyectos de ingeniería, la cual consiste en la ejecución de obras civiles con una alta calidad técnica, buscando un equilibrio económico y disminuyendo el impacto ambiental con productos o sistemas que promuevan la protección del medio ambiente.

La tecnología de los geosintéticos se ha convertido en una alternativa para solucionar los problemas tanto técnicos como económicos de los proyectos de ingeniería y su implementación se ha hecho en la mayoría de los casos de forma empírica, retomando resultados de experiencias en proyectos anteriores. Bajo este concepto, en muchas ocasiones los geosintéticos han sido una solución exitosa pero en algunos casos la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto, no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados en su total magnitud.

Dentro del grupo de geosintéticos se tienen los geotextiles los que se definen como un material textil plano, permeable que se utiliza en aplicaciones geotécnicas de la ingeniería civil. Al analizar y estudiar los geotextiles se encontraran los beneficios que deja el utilizar estos materiales en carreteras como mejor revestimiento, una vida útil más extensa, reducirá los costos de material selecto, ayudando así a la economía del país y dándole mayor facilidad de movilidad al tránsito de los sectores que utilizan la vía a estudiar entre ellos ganaderos, agricultores, turistas, etc.

Sin lugar a duda, esta investigación será una buena herramienta de trabajo que permita un mejor entendimiento y una optimización en el diseño con Geotextiles. Este estudio de Geotextiles se lograra por medio de investigaciones de proyectos elaborados en Nicaragua con el material y con el aporte de los distribuidores de Geotextiles en el país. Además se diseñara el tramo de carretera Camoapa-Comalapa en el departamento de Boaco-Nicaragua haciendo una comparación de procedimientos con y sin el material para valorar su utilización.

La longitud de trabajo será de 12km a lo largo del camino, comenzando por el estudio de tránsito, luego el estudio de suelo con sondeos manuales, métodos de granulometría, límites y CBR. Las pruebas realizadas se hicieron con las especificaciones de la ASTM. Teniendo los datos adquiridos en estos estudios se calculará el diseño del espesor del pavimento, luego se hace el procedimiento del cálculo de espesor utilizando Geotextil. Concluyendo con el estudio económico en ambos casos. Las pruebas de tránsito y suelo se realizan en el campo, las pruebas en laboratorio y los cálculos y presupuestos en salón.



Debido a la poca información y utilización de Geotextil se espera que por medio de este estudio ejemplificado se aclaren ciertas inquietudes que se tiene de dicho material, siendo de beneficio para quien lo consulte.

En cada capítulo se abordaran los siguientes temas:

Capítulo I: Considera las características generales tanto del proyecto como del material Geotextil, la localización y tipo de suelo a tratar, los objetivos que se persiguen, la justificación por la cual se realizó este trabajo y la metodología a seguir para culminarlo.

Capítulo II: Aborda las consideraciones teóricas que se deben tener en cuenta en un proyecto similar, las investigaciones que se deben realizar, las propiedades que presenta el suelo, los factores que deben tomarse en cuenta al diseñar carreteras y los factores que influyen en las propiedades dinámicas de los suelos a trabajar.

Capítulo III: Al trabajar con un material de poco renombre es importante investigar cuanto se pueda para saber con que se está trabajando. En este capítulo se abarca lo concerniente al Geotextil, las definiciones generales, los usos, las funciones, los beneficios, secuencia de instalación, entre otros; se hizo una selección de lo más importante del material a utilizar.

Capítulo IV: Para obtener un buen conocimiento del sitio a trabajar se debió hacer exploraciones en el lugar, estudios del suelo, y la selección del procedimiento a seguir para llevar a cabo los cálculos finales.

Capítulo V: El estudio comparativo es el corazón de este trabajo ya que en el encontramos el resumen en números de cuanto se pretende detallar en este informe, ahí se puede encontrar los cálculos de la reducción de espesores, el presupuesto, etc.

Capítulo VI: Al iniciar un proyecto es muy importante la hipótesis, lo que se espera de tal investigación; sin embargo nos damos cuenta que lo que se concluye es lo elemental de todo el trabajo realizado, ya teniendo bases del tema a tratar se logra dar las recomendaciones pertinentes tomando en cuenta los inconvenientes que se tuvieron a lo largo de las investigaciones. No obviando que se tuvieron muchas limitaciones por la poca información que se cuenta en el país de lo que es Geotextiles y sus funciones. Se concluye este capítulo con los anexos, datos importantes que ayudan en el momento de concluir.

Capítulo VI: Siempre se necesita de algunos elementos indirectos que ayudan a finiquitar la investigación que aunque no son de relevancia, ayudan a complementar la informe final.



1.1 Generalidades

1.1.1 Nombre Monográfico: Se denomina “Uso de Geotextiles en diseños de carreteras”.

1.1.2 Nombre del Proyecto: El proyecto es de pavimentación del tramo “Camoapa-Comalapa” el cual está en trámite en la Alcaldía de dicha comunidad, aun no realizado por falta de fondos necesarios.

1.1.3 Localización del sitio de estudio de caso: El tramo de “Camoapa-Comalapa” es un camino que une las comunidades situadas en los departamentos de Boaco-Chontales respectivamente, ambos situados en la parte central de Nicaragua.

El municipio de Camoapa se localiza a los 12° 23’ latitud norte y 85° 30’ de longitud oeste. Se encuentra ubicada en la parte cabecera central del país, a 114Km de Managua, capital de Nicaragua; con 1483.29km². El paisaje se encuentra caracterizado por un relieve ondulado ocupado principalmente por áreas cubiertas de pastizales con arboles aislados. La vegetación arbórea se reduce a las márgenes de los ríos corriendo paralela al curso de estos. Tiene una altura aproximada de 520msnm.

El municipio de Comalapa se localiza en 12° 16’ de latitud y 85° 10’ de longitud oeste. Se encuentra ubicada a 130Km de Managua, y tiene una extensión de 643.86km². Comalapa es uno de los pueblos más antiguos de la república, su fundación se remonta a la época aborigen; no se ha logrado encontrar ninguna ley relacionada con la creación del municipio que lleva su nombre.

1.1.4 Nombre de material a utilizar: Dentro de los Geosintéticos se encuentra una gama de materiales que según sus fabricantes logra el racionamiento de los recursos naturales los que ejercen un buen control de calidad y son fabricados bajo el sistema de Aseguramiento de la Calidad 9001:2000. Dentro de los Geosintéticos tenemos las siguientes líneas: Geotextiles, geodrenes, bolsacretos, casetex, geoestructuras, control de erosión, geomallas y geomembranas de polietileno y de PVC. Para este diseño se trabajara con *Geotextiles* y las normas de especificación de aplicaciones viales Designación AASHTO M288, esta define el valor mínimo requerido para la supervivencia de los geotextiles en sus diferentes funciones.



1.2 Objetivos

General

- Conocer y analizar el comportamiento de Geotextiles y su influencia en el diseño de carreteras.

Específicos

- Determinar las ventajas y desventajas del uso de Geotextiles en las carreteras.
- Diseñar una estructura de pavimento flexible con rodamiento asfaltado y otro anexándole Geotextil para visualizar como afecta dicho material en la disminución de espesores.
- Calcular presupuestos con y sin Geotextil para comparar ambos diseños en el carácter económico para determinar cuantitativamente la diferencia en el costo inicial.
- Conocer si se manifiesta alguna diferencia en la capacidad portante de un tramo de carretera al anexarle Geotextil.
- Analizar de que manera el uso de tal material puede afectar la vida útil de una vía.



1.3 Justificación

En Nicaragua el uso del material Geotextil ha sido muy pobre, por el poco conocimiento de su aplicación, sin omitir que también se debe a que es un producto de importación; y en la mayoría de los casos se prefiere trabajar con productos más económicos y de nacionalidad nicaragüense, tal situación se da a nivel mundial con todo producto; sin embargo su utilización da mayor estabilidad, durabilidad y mayor permeabilidad al suelo por las ventajas que ofrece como drenaje, estabilidad, controlando la erosión entre otras.

El estudio a realizarse surge debido a la necesidad que tiene el país de enriquecer los métodos constructivos para brindar mejores vías tanto a los pobladores como a los turistas que transitan por él. Tradicionalmente, se recurría a movimientos de tierra, traslado de áridos y confinamiento de suelos para lograr la estabilidad, el refuerzo o la separación necesaria para los diferentes tipos de suelo. La necesidad de efectuar mantenimientos más eficientes de vías pavimentadas, con carpetas asfálticas y pavimentos rígidos, ha motivado el estudio de esta tecnología que permite rehabilitar con mejores resultados para prolongar la vida útil y para optimizar la durabilidad y resistencia en el mantenimiento de vías y de esta manera se le brinde mejores condiciones a los sectores que transiten en dicha vía. Tal necesidad nos lleva a la inquietud de lo que es Geotextiles y que funciones serian de gran provecho para el país; además pueda ser que en algunos casos el costo inicial al utilizar Geotextil aumente, aunque no en todos los casos pero a lo largo de la vida útil es notorio el beneficio económico que deja su uso.

Los métodos racionales de diseño son una herramienta para analizar el comportamiento real de una estructura de pavimento sometida a cualquier tipo de carga y condición ambiental, teniendo en cuenta las características y propiedades de los materiales que conforman la estructura; y es aquí donde se fundamenta la selección de esta metodología para el análisis de un sistema de pavimento reforzado con geotextil. Los programas de diseño de pavimentos se basan en las teorías de distribución de esfuerzos y deformaciones en un sistema multicapa y permiten hacer un rápido análisis de las diferentes alternativas de diseño para una misma estructura, comparando los resultados de cada alternativa con los valores admisibles establecidos. Esta comparación es la que permite evaluar los beneficios de la utilización de un geotextil dentro de la estructura de pavimento, que se pueden definir en tres tipos: reducción de espesores, incremento de la vida útil o incremento de la capacidad portante de la estructura.

Haciendo el estudio de caso sobre la aplicación de lo que son los Geotextiles se expondrá el tramo de carretera Camoapa-Comalapa con el uso del material mostrando sus ventajas y desventajas tanto en el aporte impermeabilizante como en el aporte económico.



CAPITULO II

Estudios de

Ingeniería





2. ESTUDIOS DE INGENIERÍA

En la ingeniería se requiere de diversos estudios para determinar la viabilidad de la construcción de cualquier proyecto, en el caso de la elaboración de un tramo de carretera se requiere de ciertos estudios que deben ser valorados al momento de plantearlo. Los estudios más comunes son:

- ✓ Estudio de suelo
- ✓ Estudio de estructura de pavimento
- ✓ Estudio geométrico
- ✓ Estudio topográfico
- ✓ Estudio de tránsito
- ✓ Estudio ambiental

2.1 Estudio de Suelo

Por medio de la investigación del subsuelo se pueden determinar parámetros representativos o configurar un modelo analítico que sea compatible con la importancia, las necesidades del problema y características del suelo soporte en las zonas involucradas. De este modo se logra entonces seleccionar racionalmente el elemento de transición estructural del suelo.

Para que los ingenieros puedan proyectar una cimentación adecuada, debe tener un conocimiento razonable de las propiedades físicas-mecánicas y disposición de los materiales del subsuelo. Esta información puede obtenerse mediante técnicas de investigación en el terreno y en el laboratorio que es lo que se conoce como investigación del subsuelo.

Las propiedades de los suelos se determinan mediante ensayos y se expresan numéricamente por determinados coeficientes. Las investigaciones se realizan con muestras alteradas e inalteradas. Las muestras alteradas son suficientes cuando se quieren determinar características generales, como, granulometría, tamaño, peso de las partículas, humedad, límite líquido, plástico, capacidad de absorción de agua, materias presentes o valores límites de densidad. Se requieren muestras inalteradas cuando se desean obtener magnitudes dependientes de la estructura o de la densidad in situ, como el índice de poros, la densidad aparente, la permeabilidad, la succión capilar, etc.

2.1.1 Conceptos Generales en Mecánica de suelos.

Tamaño de los Granos

La variedad en el tamaño de las partículas del suelo o granos casi es ilimitada, por definición los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos no se pueden apreciar con un microscopio corriente. Este puede ser determinado por medio de análisis granulométricos. (El concepto análisis granulométrico se detalla en la página 18).



Forma de las Partículas

La forma de las partículas tienen tanta importancia como su tamaño en lo que respecta al comportamiento del suelo; sin embargo a menudo no se considera, pues es difícil medirla y describirla cuantitativamente, la forma de los granos puede ser de tres clases: granos laminares, granos redondeados y granos aciculares.

Humedad

Es la cantidad de agua que posee un suelo, se expresa por la relación entre el peso del agua W_w existente en el suelo y el peso seco W_s de este. $\%W = W_w/W_s$

Para la determinación de la humedad del suelo se sigue el siguiente procedimiento:

1. Pesar una muestra representativa de suelo en estado húmedo, de unos 50 gr.
2. Secar dicha muestra a peso constante en un horno a temperatura de 100 a 110⁰c y luego pesarla.
3. La diferencia entre el peso de la muestra antes y después de secada al horno representa el peso del agua que contenía la muestra, este peso del agua expresado como porcentaje del peso seco de la muestra proporciona el contenido de humedad.

El contenido de humedad del suelo puede variar desde cero cuando está seco hasta un máximo determinado y variable cuando está completamente saturado. La humedad es una característica muy importante en los suelos cohesivos, influye sobre la capacidad de compactación y la consistencia, así como la capacidad portante del terreno.

Color

Aunque el color no es una propiedad importante por si misma es una indicación de otras propiedades más importantes. El color es la propiedad del suelo que más fácilmente emplea el que no tiene experiencia en mecánica de suelos, para identificar los suelos, sin embargo es un método práctico para enseñarles a los trabajadores como distinguir ciertos suelos.

Peso Específico

Se define como la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra. $g = w_m / v_m$. Este al relacionarse con el peso específico del agua es llamada densidad relativa la cual es importante en mecánica de suelos debido a la correlación directa que ella tiene con otros parámetros. Además es posible obtener el peso específico de una muestra granular mediante la siguiente correlación:

$$\gamma = (94g + 0.15l) * 16.0184 \text{ kg/m}^3$$

g : peso específico de la muestra

l : límite líquido de la muestra



Porosidad

La porosidad es el volumen de huecos de una muestra de suelos, y define la posibilidad de almacenar más, o menos cantidad de fluido. Se expresa por la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de muestra, como $N(\%) = (V_v/V_m) * 100$

Resistencia

En el estudio de las propiedades mecánicas de un suelo hay que considerar en general tres clases de esfuerzos: de compresión (que tienden a disminuir el volumen del material); de tensión (que tienden a crear fracturas en el material) y cortantes (que tienden a desplazar una parte de suelo con respecto a las otras). De acuerdo con esta clasificación el suelo puede presentar resistencia a la compresión y resistencia al esfuerzo cortante, la resistencia a la tensión en cambio puede despreciarse como consecuencia, aquellas estructuras o parte de estructuras que han de experimentar tensiones no se construyen con material de suelos sino con otro material para ello apropiado, tales como concreto armado o acero.

Consistencia

Es la propiedad índice más importante de los materiales finos, es la que gobierna las fuerzas de cohesión-adhesión, responsables de la resistencia del suelo a ser moldeado o roto. Se refiere a las fuerzas que permiten que las partículas se mantengan unidas; se puede definir como la resistencia que ofrece la masa de suelo a ser deformada o amasada. Dichas fuerzas dependen del contenido de humedades por esta razón es que la consistencia se debe expresar en términos de suelos seco, húmedo o mojado. Las fuerzas que causan la consistencia son Cohesión y Adhesión.

-Cohesión: es la fuerza de atracción entre partículas de la misma naturaleza.

-Adhesión: se debe a la tensión superficial que se presenta entre las partículas de suelo y las moléculas de agua. Sin embargo, cuando el contenido de agua aumenta excesivamente, la adhesión tiende a disminuir. El efecto de la adhesión es mantener unidas las partículas por lo cual depende de la proporción agua-aire.

La consistencia de un suelo inalterado puede determinarse mediante la prueba de compresión simple, también puede estimarse por medio de la prueba de penetración estándar, como se muestra en la tabla:

N golpes	Consistencia	ϕ : ángulo de fricción interno del suelo(o)
≤ 2	Muy blanda	0
2-4	Blanda	0-2
4-8	Mediana	2-4
8-15	Compacta	4-6
15-30	Muy compacta	6-12
≥ 30	Dura	≥ 14



2.1.2. Métodos y Descripción de Algunas Pruebas

Designación ASTM: creada en 1898, ASTM internacional (Sociedad Americana para la prueba de materiales), es una de las mayores organizaciones en el mundo que desarrollan normas voluntarias por consenso, aplicables a los materiales, productos, sistemas y servicios. Los miembros de la ASTM, que representan a productores, usuarios, consumidores, el gobierno y el mundo académico de más de 100 países desarrollan documentos técnicos que son la base para la fabricación, gestión y adquisición y para la elaboración de códigos y regulaciones.

Existen diferentes métodos actualmente para la clasificación de los suelos entre ellos:

- Sistema de clasificación del departamento de caminos públicos (HRB).
- Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

Según el SUCS, el suelo se divide en dos clases, el de granos gruesos y el de granos finos, los de granos gruesos tienen más del 50 % en peso, de granos más gruesos que el tamiz No 200. Estos suelos se representan por la letra G si más de la mitad del peso de las partículas gruesas son más gruesas que el tamiz No 4, se representan por el símbolo S si más de la mitad son más finas que el tamiz No 4. A la G o a la S le sigue una segunda letra que define la graduación, W en buena graduación con poco fino, P en graduación pobre uniformemente o discontinua con poco o ningún fino, M que contiene limo, y C que contiene arcilla. Los suelos de granos finos se dividen en arcillas, limos y arcillas orgánicas, estos símbolos están seguidos por una segunda letra que denota el límite líquido o la compresibilidad relativa, L para límite líquido menor que 50 y H para límite líquido que excede de 50.

2.1.3. Granulometría

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los diferentes tamaños de las partículas que constituyen determinado suelo. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más sencillo es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos del tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación.

Conocida la composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo, como tamaño de las partículas pueden considerarse el diámetro de ellas cuando el indivisible bajo la acción de una fuerza moderada, como la producida por un mazo de madera golpeando ligeramente. Un suelo de granos gruesos que contenga proporciones aproximadamente iguales de todos los tamaños de las partículas se describe como bien graduado y se caracteriza por tener una curva relativamente suave que cubre un amplio rango de partículas. Por el contrario se dice que un suelo es mal graduado en cualquiera de los casos siguientes. El suelo se describe como uniforme si una alta proporción de partículas está comprendida en una banda de tamaños estrecha, la curva se caracteriza por tener una parte importante casi vertical. Si el suelo contiene partículas intermedias se dice que tiene graduación discontinua. Una indicación de la graduación puede expresarse numéricamente con el coeficiente de uniformidad, C_u o con el coeficiente de curvatura C_c .



Los suelos se clasifican como bien graduados si $C_u > 4$ y $1 < C_c < 3$ para gravas y si para arena $C_u > 6$ y $1 < C_c < 3$

El coeficiente de uniformidad se obtiene mediante:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

El coeficiente de curvatura es:

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} D_{10}$$

El D_{60} (diámetro eficaz), es el diámetro tal que el 60% de las partículas del suelo considerado tienen diámetro inferior.

Análogamente se pueden definir otros diámetros característicos variando el porcentaje señalado y así tenemos D_{10} , D_{30} , etc.

Para la realización adecuada de un diseño de pavimento es necesario obtener tanto información como datos seguros, exactos y detallados del tipo de suelo en el cual se ha de trabajar. Esto hará que el diseñador tenga una mejor percepción en sus análisis. Este estudio se logrará por medio de procedimientos simples en los cuales el principal objetivo es extraer muestras del tipo de suelo para determinar su clasificación granulométrica, límites de consistencia y su capacidad soporte, sin embargo el mayor trabajo de hacer estos estudios es en el laboratorio de mecánica de suelos.

Los suelos se dividen en tres grupos:

- Suelos granulares
- Suelos finos
- Suelos orgánicos

2.1.3.a Clasificación de los suelos

El procedimiento de clasificación de suelos consiste en agruparlos según sus características ya sea por tamaño o por plasticidad. Para hacer esta clasificación existen ciertos métodos entre ellos tenemos el método del HRB y SUCS, sin embargo para las construcciones horizontales el método a usarse es el HRB.

Cuando se habla de granulometría se refiere a la distribución de tamaños de partículas del suelo y se puede realizar por el método manual, mecánico o por hidrómetro, y el objetivo primordial de la granulometría es determinar si el suelo está bien o mal graduado.

El método HRB clasifica los suelos en 3 tipos:

Suelo grueso: son las gravas y las arenas. Un suelo es granular cuando menos del 35% pasa la malla #200. En la tabla van de $A_1 - A_3$.

Suelo fino: son limos y arcillas, un suelo es fino si más del 35% pasa por la malla #200. En la tabla son desde $A_4 - A_7$.

Suelo orgánico: es el que presenta plantas. En la tabla A_8 .

Los datos que se necesitan para aplicar este método son:

Porcentaje que pasa la malla #4.	Límite líquido.
Porcentaje que pasa la malla #10.	Límite plástico.
Porcentaje que pasa la malla #40.	Índice de plasticidad.
Porcentaje que pasa la malla #200.	Índice de grupo.

Los porcentajes se encuentran al hacerlo en el laboratorio.



Índice de plasticidad (IP): es el intervalo de humedad para que el suelo permanezca plástico. $IP = L_l - L_p$.

Limite líquido (LL): es el contenido de humedad necesario para pasar de un estado plástico a un estado líquido.

Limite plástico (LP): es el contenido de humedad que debe tener un suelo para pasar del estado semisólido a un estado plástico.

Limite de contracción (Lc): es el contenido de humedad que debe presentar un suelo para pasar del estado sólido a estado semisólido.

Índice de grupo (IG): es un valor que determina la resistencia que presentan los suelos. A mayor índice de grupo menor resistencia, por lo tanto será mejor un índice de grupo de poco valor. $IG = 0.2(a) + 0.05(a)(c) + 0.01(b)(d)$.

2.1.3.b. Sondeos

Para llegar a obtener estos datos se debe pasar por sondeos en el sitio a realizarse el proyecto; los sondeos más utilizados son:

1. Método de sondeo definitivo:

- Pozos a cielo abierto con muestreo inalterado
- Método con tubo de pared delgada
- Método rotatorio para roca

2. Método geofísico:

- Sísmico
- De resistencia eléctrica
- Magnético y gravimétrico

3. Método de exploración de carácter preliminar:

- Pozos a cielo abierto, con o sin muestreo alterado
- Perforaciones con porteadora, barrenos, helicoidales o métodos similares
- Método de lavado
- Método de penetración cónica
- Método de penetración estándar
- Perforaciones en boleos y grava

En este análisis se utilizó el método de Perforaciones con porteadora, barrenos, helicoidales o métodos similares; las perforaciones fueron hechas con barra y cobin, se realizaron 3 sondeos manuales por kilómetro de 0.3m de ancho con 1.2m de profundidad. Luego de hacer las perforaciones se extrajeron las muestras y fueron colocadas en bolsas, identificándolas con numeración detallada, este paso debe realizarse con sumo cuidado para no alterar los resultados ya que de ello depende el resto del análisis. Una vez que se han obtenido las muestras necesarias y están debidamente identificadas se procede a trasladarlas hasta el estudio de suelos donde se harán las pruebas respectivas.



2.2 Estudio de Estructura de Pavimento

Para determinar un tipo de pavimento y sus características físicas se necesita de un buen procedimiento, tomando en cuenta que el estudio de suelos es uno de los factores que determinaran mas el tipo de pavimento a utilizarse en cualquier proyecto, además de tipo de transito de sitio.

Existen 2 tipos de pavimentos:

- Rígido
- Flexible

Para seleccionar que tipo de pavimento a de emplearse hay que tomar en cuenta un sin número de factores los cuales deberán ser analizados, sin embargo lo más común es que el factor económico sea quien determine en última instancia que tipo de pavimento debe emplearse.

2.2.a. Factores de selección del tipo de pavimento:

- ❖ Transito: el volumen de transito afecta tanto los requerimientos geométricos como dos del tipo de pavimento, la frecuencia de cargas pesadas tienen un mayor efecto sobre el diseño estructural del pavimento.
- ❖ Características del suelo: el suelo forma la sub.-rasante, por lo tanto la capacidad soporte que tenga el suelo aportara a las dimensiones que se deben determinar para la base y la sub.-base, lo cual permitirá determinar la mejor opción de pavimento.
- ❖ Clima: este influye tanto en el tipo de suelo como en el tipo de pavimento. La humedad tiende a deteriorar los materiales que se emplean en la rasante y si filtra hasta la sub.-rasante tiende a debilitar el suelo.
- ❖ Reciclado: muchas veces el material empleado en el pavimento puede ser reciclado y de buen uso en tiempos futuros.
- ❖ Consideraciones en la construcción: si el periodo de construcción varía con un material y otro, esto podría dictar el tipo de pavimento a emplearse, o el acomodamiento del material durante la construcción, la facilidad de repavimentar o en caso de querer ampliar son unas de las consideraciones que deben hacerse.
- ❖ Comparación de costos: cuando varios tipos de pavimentos sirven satisfactoriamente debe hacerse la comparación de costos para ayudar a la determinación del tipo de pavimento.
- ❖ Pavimentos existentes adyacentes: la selección del tipo de pavimento también debe de verse influida por las secciones adyacentes que han dado un buen servicio; además la continuidad resultante del tipo de pavimento también simplificara operaciones de mantenimiento.
- ❖ Disponibilidad del material: la disponibilidad del material es muy importante, ya que si un material es escaso en la zona será más costoso, también se debe tomar en cuenta los equipos con que cuenta el contratista y la facilidad en mover el material.
- ❖ Seguridad del tránsito: las características de la capa de superficie de desgaste, la necesidad de la delineación de todo el pavimento y el contraste de reflexión de los hombros bajo la iluminación de la carretera y el mantenimiento de la superficie antiderrapante puede influenciar la selección del tipo de pavimento.



2.2.b. Capas de un Pavimento

Sub.-rasante: esta se refiere a la capa de suelo situada debajo del pavimento. El material de esta capa, además del material natural puede incluir su mezcla de material de banco o con aditivos así como material agregado. La resistencia de la sub.-rasante es un factor básico en la determinación de los espesores de las capas del pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio del estudio llamado CBR. Para efectos de diseños se considera de espesor semi-infinito. No obstante que se encuentra algo distante de las cargas aplicadas al pavimento, su comportamiento estructural deja sentir su influencia en el, ya que de su capacidad soporte depende, en gran parte el espesor que debe tener el pavimento flexible.

Sub.-base: una de las funciones principales de la sub-base es de carácter económico, ya que se usa para disminuir el espesor del material de base (el valor del material de la base por lo general es un poco más alto); sin embargo su función estructural es casi la misma que la de la base. Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular, y la propia sub.-rasante, generalmente formada por materiales mas finos. La sub.-base más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la sub.-rasante. La sub.-base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, así como cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. Además la sub-base actúa como drenaje para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la capilaridad del agua procedente de la terracería hacia la base.

Base: es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, los esfuerzos producido por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los hombros del pavimento, así como impedir la capilaridad. Las bases pueden construirse de materiales como piedra triturada o grava de depósitos de aluvión (base hidráulica), materiales estabilizados con cemento, asfalto o cal, macadam (mezcla de arena fina con bolones), losas de concreto hidráulico. Desde el punto de vista económico la base permite reducir el espesor de la carpeta. La base no debe presentar cambios volumétricos que les perjudique debido a la variante de humedad.

Carpeta: la carpeta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Cuando está hecha de concreto asfáltico colabora a la resistencia estructural del pavimento. Desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento es el elemento más importante.

La Carpeta de rodamiento en un Pavimento Flexible está constituida por un material pétreo al que ha sido adicionado un producto asfáltico que tiene por objeto servir como aglutinante.



Entre las funciones principales que debe satisfacer encontramos la de transmitir las cargas a la base y a la vez proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos, impermeabilizar la superficie evitando posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar las capas anteriores y resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climatológicos.

Como se mencionaba anteriormente existe pavimentos rígidos y flexibles, la mayor diferencia entre ellos es que el pavimento flexible transmite sus cargas al subsuelo. Los pavimentos rígidos son los que su carpeta está hecha de mezcla de concreto, los pavimentos flexibles son aquellos que están formados por asfalto y los de adoquín suelen llamarse semirrígidos. En este caso se trabajara con pavimento flexible para poder analizar un pavimento de asfalto y luego acompañarlo de Geotextil.

Aunque en Nicaragua aun no hay un reglamento que defina normas que rijan este tipo de diseño se tiende a utilizar reglamentos norteamericanos que vayan con el criterio del consultor; sin embargo el manual Centroamericano para diseño de pavimentos está siendo utilizado en su mayor parte para diseño de adoquines. Los métodos utilizados en Nicaragua han variado según las épocas:

1970 – 1990 El método de Williams Haynes Mills fue el que se empleo modificando las intensidades e lluvia y luego fue revisado y adaptado por Murillo López de Souza.

1990 – 2002 En este periodo empieza a funcionar la AASHTO con Desing o Pavement Structures adecuándolo a las condiciones de nuestro país.

Como se ve el método más utilizado es el de Murillo López de Souza el cual surgió de W.H.Mills, los datos que requiere este método es: el tipo de transito, CBR, etc. Se dice que si la subrasante tiene un CBR menor al 5% debe colocarse una terracería mejorada y debe también analizarse la precipitación pluvial del lugar con espesores de 10cm – 45cm. El espesor mínimo de la estructura de pavimento en sub.-rasantes con CBR mayor al 5% debe ser de 45cm – 55cm.

Fuente: Folleto Mecánica de suelos I Pág.20.

El método del proyecto de pavimento está basado en el CBR como medida de capacidad de soporte de los materiales del pavimento con excepción del revestimiento bituminoso, siendo el valor del CBR corregido, que se denomina Índice de Soporte. El método del HRB plantea que si el 35% del material pasa por la malla #200 el material es fino de lo contrario sería grueso.

El CBR(California Bearing Ratio) se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro del suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón para la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturado. Esta relación se expresa en porcentaje:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{Esfuerzo en la muestra patrón}} * 100$$



Ensayo CBR sobre Muestras Inalteradas: Cuando se desee realizar el ensayo sobre una muestra con la densidad y la humedad exactas que el suelo tiene en el terreno, contiene efectuar el ensayo sobre una muestra inalterada.

Ensayo CBR de campo: En muchas ocasiones es deseable verificar los valores de CBR obtenidos en el laboratorio como los que se están alcanzando durante la construcción lo que puede hacerse con una prueba de campo.

En ocasiones no existe una correlación precisa entre los valores de CBR obtenidos en el laboratorio y en el campo, presentándose esta situación con mayor frecuencia en el ensayo de suelos granulares; debido a la importancia sin el resultado del ensayo del laboratorio ejerciendo el efecto confinante del molde; sin embargo debe tenerse en mente, que los valores solo serán comparables si las condiciones de humedad y densidad del suelo son semejantes en el campo y en el laboratorio.

Selección del valor de CBR de diseño:

Es evidente que una sola prueba de CBR sobre un material de sub-rasante que aparece en la vía por centenares o miles de metros o sobre un material de una fuente de miles de metros cúbicos de volumen, no proporcionan la confianza suficiente con respecto a la resistencia real del suelo.

Es por esto aconsejable realizar varias pruebas sobre muestras del mismo material elegibles al azar (mínimo seis) cuyos resultados es de esperar que no sean idénticos por la gran cantidad de variables; tanto por la heterogeneidad del mismo material como por la ejecución del ensayo mismo.

Una vez determinada la resistencia de cada una de las muestras elegidas, se encuentra el CBR de diseño el cual según el criterio del instituto del asfalto se define como aquel valor que es igualado o superado por un determinado porcentaje de los valores de las pruebas efectuadas.

El CBR de diseño se determina de la siguiente manera:

- ❖ Se ordenan los valores de CBR obtenidos de menor a mayor.
- ❖ Para cada valor numérico diferente de CBR comenzados desde el menor, se calcula el número y el porcentaje de valor de CBR que son mayores o iguales que el.
- ❖ Se dibujan los resultados en un grafico CBR vs porcentaje de valores mayores o iguales y se unen con una curva los valores dibujados en el.
- ❖ El CBR de diseño es el correspondiente a un valor en las ordenadas de 60, 75, 87.5 %, según si el tránsito de la vía objeto del estudio se espera que sea liviano, mediano o pesada.



CBR de diseño: Es el valor que se utiliza para diseñar la estructura de pavimento y está en función de la resistencia del suelo y del tipo de transito que circule por él en el periodo de diseño.



*Estructura típica de un Pavimento Flexible
Fig # 1*

En la capa de Carpeta de rodamiento se usan ciertos componentes entre los cuales tenemos:

Betún: la palabra betún se emplea para designar ciertas sustancias naturales obtenidas por aplicación de calor en rocas calizadas a areniscas en las que impregnadas dichas sustancias. Su color varia de oscuro a negro y están compuestas casi por completo de Carbono e Hidrogeno con muy poco Oxigeno, Nitrógeno y Azufre.

Asfalto: es la mezcla natural en la que el Betún Asfaltico está asociado a un material mineral inerte, esto es que no reacciona químicamente, podríamos decir que se mantiene inalterable sin transformarse ni cambiar. Para que el asfalto sea utilizable la materia natural inerte no debe exceder de un 35% en peso del total. En las carreteras de poco tráfico se realiza la operación con mayor economía esparciendo una capa delgada y poco costosa de asfalto líquido sobre el firme de la carretera y se cubre inmediatamente con gravilla.

Alquitrán: es un producto bituminoso que resulta de la destilación de materias carbonacias, tales como hulla, lignito, madera, etc. Debe ser semi-solido o líquido.

Para determinar los espesores de cada capa se debe contar con un sinnúmero de datos entre los cuales tenemos:



Número Estructural (SN): también conocido como valor soporte del suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad portante de un pavimento. Se puede decir que el pavimento tendrá mayor capacidad mientras mayor sea el SN. En este caso se tomara un **SN = 5**.

a_1, a_2, a_3 : coeficientes de capas representativo para la superficie de rodamiento de base y subbase, según el nomograma de tránsito del diseño de el tramo en estudio.

Capa	a_i
Base	0.14
Sub.base	0.42

Tabla # 1

Coefficientes de capa de superficie de rodamiento.

Fuente: Nomograma de diseño del tránsito

d_1, d_2, d_3 : espesor real en pulgadas de la subrasante, base y subbase.

m_2, m_3 : coeficiente de drenaje para base y subbase. $m = 1$.

Calidad del drenaje	$\leq 1\%$	1% - 25%	$\geq 25\%$
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 0.8	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.6	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.4	0.40

Tabla # 2

Coefficiente de Drenaje

Fuente: Manual Centroamericano para obras horizontales

Numero ESAL: tráfico vehicular expresado en el numero de aplicaciones de carga.

Modulo de Resilencia: mide la capacidad portante del suelo y depende de as características del material de cada capa. Este se puede determinar a través de ensayos de laboratorio o mediante un equipo especializado de campo. Cuando no se tienen estos ensayos el Modulo de Resilencia se calcula a partir del CBR, de acuerdo a la guía de la AASHTO será: $MR = 1500 * CBR$.

Confiabilidad: se define como la probabilidad de que un pavimento cumpla con las funciones para las cuales fue diseñado durante el periodo que comprende su vida útil. En este caso es de **C = 75%** ya que es el valor mínimo de una colectora rural de tránsito.



Niveles de Confiabilidad Sugeridos para diferentes Carreteras		
Clasificación	Nivel de Confiabilidad	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras de Tránsitos	80 – 95	75 – 95
Carreteras locales	50 – 80	50 – 80

Tabla # 3

Niveles de Confiabilidad

Fuente: Manual Centroamericano para obras horizontales

Servicialidad: ΔPSI o índice actual de servicialidad, el cual oscila entre 0(carreteras en malas condiciones) a 5(carreteras en perfectas condiciones).

-Valor inicial: corresponde al índice de servicialidad inicial. En pavimentos rígidos la guía de la AASHTO recomienda un valor de 4.5 y 4.2 para pavimentos flexibles.

-Valor final: corresponde al índice de servicialidad final al cual un pavimento presenta un alto grado de deterioro como para dejar de prestar su servicio seguro y comfortable. Para un diseño menor a 20 años su falla estructural llega de 2 a 2.5.

Por lo tanto $Psi = 4.2 - 2 = 2.2$

Desviación Stándar: es un coeficiente que describe la cantidad de separación de los puntos de la información a través de los cuales pasa la curva de funcionamiento, la AASHTO recomienda para pavimentos rígidos de 0.30 a 0.40 y en pavimentos flexibles de 0.40 a 0.50. $s = 0.45$.

2.3. Estudio del Diseño Geométrico

En este trabajo únicamente se hará mención de lo que es un estudio geométrico ya que no se realizará en el campo debido a la falta de equipos, complejidad y falta del tiempo; pero por su debida importancia en diseños de pavimentos se detallaran puntos importantes de esta etapa. Para realizar un diseño geométrico es necesario una serie de datos que nos proporciona el estudio topográfico además del estudio de transito. Al tener los datos topográficos y procesada la información, se procede al diseño. Existen un sinnúmeros de reglamentos para el diseño de curvas horizontales y verticales, ancho de carril, número de carriles, dimensión de cunetas, para la velocidad de diseño, distancia de visibilidad de parada, peralte en curvas entre otros elementos geométricos que ameritan considerar el diseño como radios de curva, tangente, etc. A continuación se mencionaran algunas de la normas de diseño:



1. **Velocidad de diseño:** es la velocidad máxima que se puede mantener en la vía. Para la selección se debe tomar en cuenta:
 - tipo de área: rural, urbana
 - condiciones del terreno: plano, ondulado o montañoso
 - condiciones ambientales: mucha o poca lluvia
 - volumen de tránsito
2. **Derecho de vía:** es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera (normalmente el estado), para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño bien balanceado de las calzadas y con sus carriles proyectados. El ancho de derecho de vía para el desarrollo completo de una vía urbana está influenciada por requerimientos de tráfico, topografía, uso de la tierra, costo, diseño de intersecciones o futuras ampliaciones.
3. **Ancho de carril:** escoger el ancho de carril está ligado con la capacidad de la carretera, como parámetro de referencia durante el diseño, se debe tener a la vista la estructura del tránsito proyectado, que a su vez y en la medida de la importancia relativa del tránsito pesado dentro del mismo, hará necesario que la dimensión de cada carril sea habilitada para que los camiones y las combinaciones de vehículos de diseño circulen sin peligro. El ancho de un carril oscila entre los 2.7cm – 3.5cm definiéndose por las condiciones del proyecto.
4. **Número de Carriles:** el carril es una fila para la circulación de vehículos en una sola dirección. El número de carriles depende del nivel de servicio provisto así como el volumen de tráfico proyectado.
5. **Distancia de Visibilidad:** es la longitud máxima de la carretera que puede un conductor ver continuamente delante del cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Las condiciones más importantes en la distancia de visibilidad son: de parada, de rebase, en intersecciones. La distancia de visibilidad de parada es la distancia mínima que debe proporcionarse en todos los puntos de la vía. La distancia de visibilidad de rebase es medida a partir del ojo del conductor sobre el pavimento a la parte superior de un objeto con 1.07-1.3m.
6. **Rasante:** es el término usado para designar la posición vertical de la superficie del camino en relación a la superficie del terreno, la localización final de la rasante está afectada por controles como la topografía, en terrenos planos la mayor consideración para el establecimiento de la rasante es usualmente el drenaje. Se estima que es mejor una rasante con cambios graduales a una línea con numerosos quiebres.
7. **Alineamiento horizontal y vertical:** los alineamientos no deben ser diseñados independientes uno del otro, en zonas residenciales el alineamiento se diseña para minimizar molestias a la población. Un diseño lógico es un compromiso curvatura y rasante el cual ofrece seguridad, capacidad, facilidad y uniformidad de operación y apariencia placentera entre los límites de terrenos y áreas de recorrido.

Los niveles de servicio sirven para proyectar de la mejor manera posible el diseño a desarrollar, la selección de un determinado nivel de servicio conduce a la adopción de un flujo vehicular de servicio para diseño que al ser excedido indica que las condiciones operativas se han desmejorado con respecto a tal nivel.



La AASHTO en lo que se refiere a diseño geométrico da a seleccionar el nivel de servicio de una carretera, en función de su tipología y las características del terreno y propone el siguiente cuadro:

Cuadro para seleccionar el nivel de servicio en diseños

Tipo de Carretera	Tipo de área y nivel de servicio			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano Sub.-Urbano
Autopista	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Tabla # 4

Nivel de Servicio

Fuente: Manual Centroamericano para obras horizontales

El volumen de tránsito de la hora pico a 30HD en carreteras urbanas se ubica entre el 8% y 12% del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), por lo general es válida la práctica de utilizar 10% del TPDA como valor de diseño. Y se selecciona el vehículo de diseño considerando los mas predominantes y con mayor exigencia en el tránsito.

2.4. Estudio Topográfico

El levantamiento topográfico es una parte esencial en un proyecto vial, pues los datos recabados son indispensables para el diseño geométrico. Un levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones que tienen por objeto la determinación de la posición relativa de puntos en la superficie de la tierra o a poca altura sobre la misma, estas operaciones consisten en medir distancias verticales y horizontales entre diversos objetos terrestres, determinar ángulos, hallar la orientación de estas alineaciones y situar puntos sobre el terreno, valiéndose de mediciones previas, tanto anulares como lineales.



El levantamiento topográfico está dividido en dos tipos de mediciones: planimetría y altimetría, planimetría se da en planos horizontales y altimetría en planos verticales. En un estudio topográfico los elementos más utilizados son: teodolito, plomada, cinta, estadía, nivel, etc.

El procedimiento más común en el estudio topográfico es el siguiente:

- Levantamiento de poligonal
- Nivelación del eje central
- Levantamiento de secciones transversales
- Levantamiento de intersecciones

Para determinar la topografía de un terreno existen parámetros tales como:

Tipo de terreno	Rangos de pendiente %
Plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 \leq G \leq 15$
Montañoso	$15 \leq G \leq 30$

Tabla # 5 Rangos de pendientes.

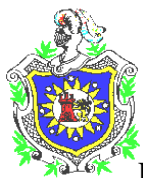
Fuente: Topografía I

2.5. Estudio de Tránsito

Para poder realizar un buen diseño en una carretera, calle o autopista es necesario conocer la intensidad del movimiento vehicular que se espera en dicho tramo, la medición de los volúmenes del flujo vehicular se puede obtener de forma manual por conteos o de forma sistemática.

Uno de los elementos en el diseño de carreteras es el tránsito promedio diario anual (TPDA) y es el volumen total de vehículos que pasan por un punto de una carretera en un período de tiempo determinado. El factor hora pico (FHP) es la relación entre la cuarta parte del volumen durante la hora de medición; y será igual o menor a uno. Los vehículos de diseño son los vehículos predominantes y de mayores exigencias en el tránsito en que se desplaza por la carretera.

La composición del tránsito depende del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en debida cuenta que los vehículos pesados pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular influenciando según su relevancia porcentual; en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de las carreteras y espesores de pavimentos. En las carreteras regionales se recomienda adoptar un período de proyección de 20 años como la base para el diseño, aunque igualmente se acepta que para proyectos de reconstrucción o rehabilitación de las carreteras se puede reducir dicho horizonte a unos 10 años. Es por eso que se determinó una proyección de 15 años.



El promedio futuro del tránsito promedio diario anual del año de proyecto en el mejoramiento de una carretera existente o en construcción de una nueva deberá basarse en los incrementos del tránsito que se espera y no solo en los volúmenes actuales.

Los volúmenes de tránsito futuro para efectos de proyecto se derivan a partir del tránsito actual del incremento del tránsito esperado al final del año del periodo de diseño. El peso vehicular es importante para el diseño de estructura d pavimento.

El tránsito se divide en 3 categorías:

1. Tránsito Liviano: cuando el número de vehículos comerciales fuese igual o menor a 250.
2. Tránsito Mediano: cuando el número de vehículos comerciales por día estuviese entre 250-750.
3. Tránsito Pesado: cuando el número de vehículos comerciales excediere los 750.

Para el dimensionamiento se debe adoptar una tasa de crecimiento para el tránsito.

Carga máxima de 4 toneladas

- a. Tránsito liviano: I.S. mínimo de 30(CBR mínimo de 40)
- b. Tránsito mediano: I.S. mínimo de 30(CBR mínimo de 40)
- c. Tránsito pesado: I.S. mínimo de 35(CBR mínimo de 50)

Carga máxima de 5 toneladas

- a. Tránsito liviano: I.S. mínimo de 30(CBR mínimo de 40)
- b. Tránsito mediano: I.S. mínimo de 35(CBR mínimo de 50)
- c. Tránsito pesado: I.S. mínimo de 40(CBR mínimo de 60)

Carga máxima de 6 toneladas

- a. Tránsito liviano: I.S. mínimo de 35(CBR mínimo de 40)
- b. Tránsito mediano: I.S. mínimo de 40(CBR mínimo de 50)
- c. Tránsito pesado: I.S. mínimo de 45(CBR mínimo de 60)

Los revestimientos bituminosos que se deben utilizar en los diferentes casos, serán los siguientes:

Carga máxima de 4 toneladas

Tránsito liviano: revestimiento bituminoso con espesor máximo de 1''.

Tránsito superficial: arena asfáltica, etc.

Tránsito mediano: Idem.

Tránsito pesado: revestimiento bituminoso con espesor de 2'' pudiéndose adoptar los de tipo intermedio in situ, mezcla en planta, macadan bituminoso, o los de tipo superior como concreto bituminoso, dependiendo la selección de la mayor o menor durabilidad que se desee.

Carga máxima de 5 toneladas

Tránsito liviano: revestimiento bituminoso de 1'' de espesor máximo.

Tránsito superficial: arena asfáltica, etc.

Tránsito mediano: Revestimiento bituminoso con espesor de 2'' pudiéndose adoptar los de tipo intermedio o superior.

Tránsito pesado: revestimiento bituminoso de tipo intermedio con espesor de 3'' o de tipo superior con espesor de 2''.

Carga máxima de 6 toneladas

Tránsito liviano: revestimiento bituminoso de 2'' pudiéndose adoptar los tipos intermedio o superior.



Transito mediano: Revestimiento bituminoso con espesor de 3'' de tipo intermedio con espesor de 2''.

Transito pesado: revestimiento bituminoso de tipo superior con espesor de 3''.

Tipos de tránsito.

TRANSITO	Ejes equivalentes a 18000 lbs. ESALS en el periodo
Liviano	$T \leq 10^4$
Mediano	$10^4 < T \leq 10^6$
Pesado	$T > 10^6$

Tabla # 6

ESALS según el transito

Fuente: Mecánica de suelos - Carlos Crespo.

Caminos Revestidos:

Son caminos cuyos trazados geométricos obedecen a algún diseño estudiado y tienen drenaje suficiente para permitir el tráfico durante la estación lluviosa. La superficie es de grava o de suelos estables cuyo espesor mínimo es de 25 cms.

Caminos de todo tiempo:

Su trazo geométrico no ha sido diseñado, ajustándose mas k todo a la topografía del terreno, permiten la circulación de trafico todo el año y la superficie de rodamiento esta conformada por suelos estables con un espesor mínimo de 15 cms.

Caminos de estación seca:

Son aquellos cuyo trazado geométrico no ha sido diseñado. la superficie de rodamiento la constituye el terreno natural, lo cual hace k la circulación del tráfico quede interrumpida en la estación de lluvia, esta clasificación se ha utilizado más que todo para identificar el tipo de superficie de rodamiento de los caminos.

2.6. Estudio Ambiental

Durante el proceso de diseño geométrico de las carreteras, al igual que en todas las etapas de su desarrollo y puesta en operación, es importante identificar los potenciales de impactos ambientales del proyecto y adoptar las disposiciones necesarias para mitigar sus efectos negativos hasta donde sea posible.

El más sofisticado diseño geométrico de una carretera puede ser desestimado si en el análisis de sus elementos justificados, no se incorporan parejamente los componentes ambientales de su impacto en el medio natural y social.

Una deficiente administración ambiental del proyecto genera una percepción negativa del mismo, creando un mal ambiente para el desarrollo de futuras carreteras, ya que se generan retrasos y elevaciones en los costos, y esto se adopta como consecuencia, soluciones de compromisos que dejan lugar para muy escasas satisfacciones entre los proyectistas y los usuarios.



Las carreteras pueden generar aspectos negativos en el ámbito natural, pueden incluir erosión del suelo, cambios en las corrientes de agua, y en el nivel freático, modificaciones en la vida animal, vegetal, así como agentes de cambio, las carreteras alteran el balance existente entre las personas y su ambiente natural

Para lograr un desarrollo sostenible durante el diseño de una carretera hay que conciliar sus innegables aportes positivos con su costo sobre el ambiente. Este cambio de óptica involucra tres aspectos fundamentales:

1. La identificación total de los impactos de la carretera sobre el medio ambiente natural y social dentro de su zona de influencia directa.
2. La cuantificación y mediación de estos impactos, bajo procedimiento en que ciertos casos no están suficientemente desarrollados como decir la mediación del efecto sobre la salud, la contaminación del aire por las emisiones toxicas de los vehículos.
3. Procedimientos a aplicar para evitar, mitigar y compensar sus efectos negativos, que en balance deben ser minimizados frente a los beneficios de la apertura o mejoramiento de una determinada obra civil.

La evaluación ambiental no es una actividad aislada a ejecutar en un momento de tiempo, debe verse como un proceso continuo que está integrado en el ciclo del proyecto durante la planificación, el diseño, la construcción, el mantenimiento, y la operación de la carretera.

Planteando incluir o mencionar lo siguiente:

Medio Biótico: Dado que es un área rural existe una buena vegetación pero la fauna es casi nula y no existen especies raras o amenazas de extinción, el ecosistema no es frágil que conlleve a riesgos potenciales en la ejecución del proyecto.

Medio Abiótico: La Topografía del terreno es irregular por tratarse de un área rural debido a eso la pendiente del terreno varia, debido a eso existe abundante erosión por las fuertes corrientes de agua en época de lluvia también debido a que el área no es poblada.

Impacto Ambiental Positivo: Podemos mencionar la reducción de la erosión en las áreas de construcción, o sea debido a que la lluvia caerá en el pavimento y drenara por las cunetas lo cual conlleva a una mejoría en el drenaje superficial de la vía, ya que la necesidad de la ejecución del proyecto de aguas negras o residuales provoca que esta agua sean vertidas a la calle con un mejor drenaje se evitarían charcas y malos olores de esta agua evitando así la propagación de insectos que puedan producir enfermedades.

Impacto Ambiental Negativo: En este caso no existe perturbación de un algún patrimonio histórico, cultural o arqueológico pero hacemos mención que en algunas intersecciones existe afluencia de aguas residuales y de lluvia en periodo de pluviosidad esto conlleva a que por naturaleza el agua por seguir su flujo puede afectar la vía provocando erosión y escorrentías que no se detienen ahí sino que siguen su curso hasta llegar a un área despejada o causas naturales.



El periodo de Construcción o ejecución del proyecto se puede generar un impacto negativo ya que el movimiento de Tierra, el traslado de maquinarias, provoca mucho polvo, lo cual afecta como tal a los encargados del proyecto como también a los que se encuentran realizando el movimiento de tierra.

No podemos obviar el impacto ambiental que se provocaría en el banco de préstamo de material ya que se tendría que extraer considerables cantidades volúmenes de este material y podría afectar la estructura del paisaje un poco más.

Para llevar a cabo la cuantificación y mitigación de estos impactos ambientales según calificaciones de los términos de referencia para un estudio de factibilidad técnica, económica, ambiental y diseño final de una carretera deberá contratarse un especialista con conocimientos y ciencias relacionadas con impacto ambiental en proyectos de pavimentación de Carreteras.

Limites del área de influencia

Se deben definir y justificar los límites del área que se consideran será afectada por la ejecución del proyecto. Esta área dependerá de los factores afectados y el tipo de impacto que pueden generarse. En términos generales pueden definirse las siguientes áreas:

a) Área directamente afectada: corresponde a las porciones de terrenos o espacio afectado entre sí misma por las obras o actividades del proyecto como áreas de construcciones, instalaciones, caminos y otros.

b) Área de influencia directa: corresponde a proporciones de terrenos o espacios que recibirán los impactos de la actividad del proyecto en forma directa, como por ejemplo áreas afectadas por emisiones de gases, ruidos, despale, remoción de tierra, alteración del ecosistema terrestre, ese considerará un área mínima de 5 kilómetros de cada lado del trazo de la vía.

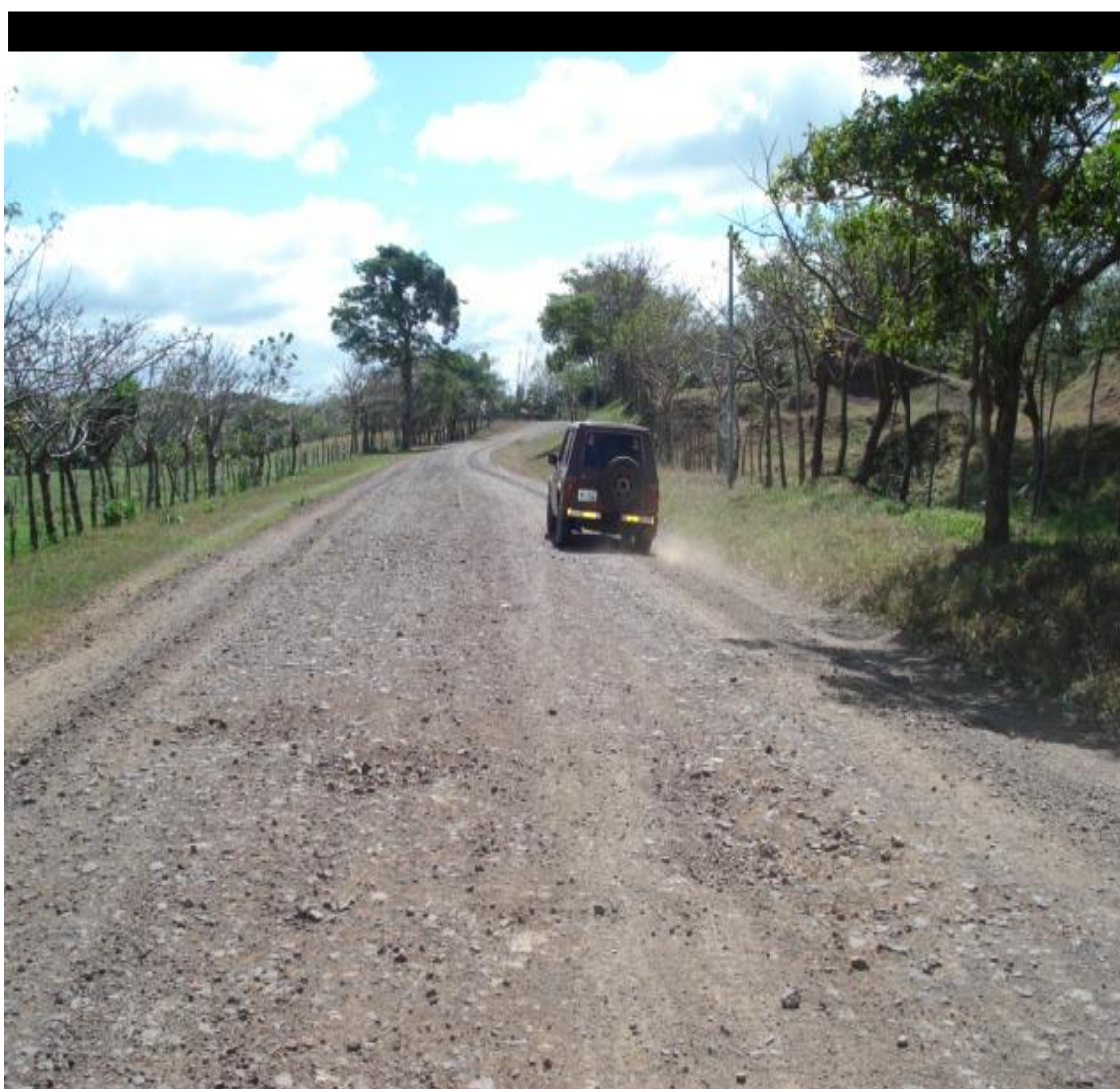
c) Área de influencia indirecta: corresponde a proporciones de terrenos o espacio que pueden recibir impacto de forma indirecta cuando el impacto directo del proyecto, afecta áreas circundantes en diversos grados, tomando en cuenta las unidades homogéneas ecológicas ej. Cuencas y micro cuencas, se considerará como perteneciente al área de influencia indirecta la ruta de migración de animales, aves y mamíferos principalmente, en caso de áreas protegidas, humedales, remanentes boscosos, se deberá incluir la totalidad de su área adentro del área de influencia indirecta.

Aunque el impacto ambiental es de gran importancia, considerado en esta área urbana no es tan perjudicial o no provocaría un impacto ambiental de gran afectación ya que se trata del *Uso de Geotextiles en Diseños de Tramos de Carreteras* de un tramo de 12 km de calle. Además que en el tramo a trabajar ya hay un camino abierto y con transito considerable, lo cual permite que la afectación ambiental sea mínima.



CAPITULO III

Geotextiles





3. GEOTEXTILES

3.1 Introducción

Geotextiles es un sistema de refuerzo, separación, filtración y drenaje para la construcción de vías de todo tipo, terraplenes, muros de contención, repavimentación y para la protección de materiales laminares como geomembranas. Los geotextiles utilizados para el refuerzo de vías permiten mejorar el funcionamiento de la estructura de pavimento, teniendo como base un espesor inicial de capa granular sin Geotextil para una condición de carga (tráfico) dada, comparado con un espesor disminuido por utilización del Geotextil, para la misma condición de tráfico. El análisis también se puede hacer para un espesor de material granular establecido y un incremento del tráfico que va a pasar sobre la vía. Sin embargo se utilizará la opción de disminuir los espesores para cuantificar la disminución de material al construir un tramo de carretera con el material.

La metodología que se presenta en este documento permite ver los beneficios que deja utilizar Geotextil para separar los componentes de las capas de la sub-rasante y calcular la reducción del espesor de la capa granular, y hacer la selección del Geotextil adecuada para el refuerzo de la estructura. Esta metodología se basa en el comportamiento del Geotextil dentro de la estructura de pavimento, actuando como un elemento capaz de absorber los esfuerzos a tensión presentados por acción de las cargas a nivel de sub-rasante, mejorando el comportamiento estructural de la vía.

3.2 Definiciones Generales

Geosintéticos: Material sintético o natural manufacturado en forma de lienzo, tira o panel (arreglo tridimensional de poco espesor), utilizado en ingeniería geotécnica, ambiental, hidráulica, y de transporte para modificar, mejorar o eliminar características de un entorno de suelo o conjunto de estratos de este.

Clases de geosintéticos

- Geotextiles
- Geomallas (geogrillas)
- Geomembranas
- Geoestructuras
- Ecomatrix
- Multimat
- Geodren
- Bolsacretos

NOTA: Debido a que el tema es Geotextiles, se mencionara como están compuestos los Geosintéticos ya que es de donde se deriva el material a investigar en la utilización de carreteras pero en la investigación solamente se detallara lo que es Geotextiles. Utilizaremos el Geotextil para separar y reforzar el tramo Camoapa-Comalapa.



Geotextiles: Dentro de la denominación genérica de los geosintéticos se encuentran aquellos materiales de deformabilidad apreciable, fabricados a base de materiales sintéticos, que poseen cualidades suficientes para proporcionar una mejora sustancial en una o varias propiedades que se requieren en las obras de ingeniería y geotecnia. Dentro del grupo de los geosintéticos tenemos los Geotextiles que se definen como “Un material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas”.

Geomallas: Sistema de refuerzo para la construcción de vías, muros de contención, terraplenes y para el refuerzo de los suelos blandos. Existen dos tipos de geomallas: geomallas mono-orientadas, fabricadas en polietileno de alta densidad y geomallas bi-orientadas, fabricadas en polipropileno. Se utilizan para terraplenes, estabilización de suelos blandos, muros de contención en suelo reforzado, estribos de puentes, vías pavimentadas y no pavimentadas, plataformas ferroviarias, etc.

Geomembranas: Las geomembranas son láminas o membranas con muy baja permeabilidad que se utilizan como sistemas de impermeabilización. Las geomembranas de polietileno de alta densidad son utilizadas en obras como reservorios, canales, lagunas y rellenos sanitarios y las de PVC, en la cubierta de edificaciones, piscinas, tanques y en el sector agrícola. Usados en rellenos sanitarios, recubrimientos de canales y diques, embalses, lagunas de oxidación, almacenamiento de aguas potables, estanques, lagos, piscinas de lodo, túneles, piscicultura, minería y otros.

Geoestructura: sistemas que trabajan como estructuras de contención o de confinamiento para protecciones costeras y protección de riberas. Las geoestructuras están fabricadas por un geotextil tejido de alta resistencia para soportar los esfuerzos de llenado y los causados por el impacto del agua en corrientes fuertes de ríos y olas de mar. Su función es contener el material de relleno como arena o material dragado, que se utiliza para la estructura de protección. Las dimensiones de la geoestructura y las propiedades mecánicas e hidráulicas del geotextil se determinan según los requerimientos del proyecto de acuerdo a un diseño específico para cada aplicación.

Ecomatrix: sistema de control de erosión para la protección de taludes y terraplenes. El ecomatrix es un manto de tejido abierto diseñado para retener las semillas y el suelo orgánico en su lugar hasta que la vegetación crezca. Cumpliendo su función de retención, comienza el proceso de fotodegradación diferencial de ecomatrix hasta degradarse en su totalidad, integrándose al suelo circundante. Este sistema protege la superficie del suelo de la erosión producida por eventos naturales, ofreciendo a su vez sombrero parcial y almacenamiento de humedad y calor para favorecer el desarrollo de la vegetación. Sus campos de aplicación son: revegetación de taludes, terrenos inundables, zanjas de drenaje, canales, aplicación de bioingeniería, etc.

Bolsacretos: sistema de formaletas flexibles y permeables que se rellenan con concreto o mortero, conformando estructuras para la protección de riberas, construcción de espolones, diques y rompeolas, entre otros. Entre sus utilidades tenemos: estabilidad de taludes, estructuras hidráulicas, espolones, muros de contención, protección de riberas, rompeolas, diques, enrocados, canales, etc.



Multimat: geomantos para el control de erosión, diseñados para proteger y favorecer el crecimiento de la vegetación en taludes propensos a la erosión. Son sistemas tridimensionales, compuestos por geomallas biorientadas colocadas una sobre otra, unidas por un hilo de polipropileno de color negro. La estructura tridimensional del multimat protege la capa superficial del suelo y permite anclar las raíces de la vegetación colocada en el talud, obteniendo una gran resistencia a la erosión provocada por la lluvia y el viento. Las geomallas que conforman la estructura tridimensional del multimat están protegidas contra los rayos UV con la adición de negro de humo o de estabilizantes UV y color verde, de esta forma el multimat resiste el efecto de los rayos UV sin pérdida de las características mecánicas.

Geodren: sistema de captación, conducción y evacuación de agua para la construcción de drenajes y subdrenajes. El geodren es un geocompuesto que combina las excelentes propiedades hidráulicas de los geotextiles no tejidos y de las georedes, para obtener un sistema prefabricado de drenaje. Existe también con tubería perforada de drenaje ensamblada en la parte inferior del sistema y en este caso, lleva el nombre Geodren con tubería. Instalado en zanjas o trincheras, permite captar y evacuar con alta eficiencia el agua subterránea con alta eficiencia el agua subterránea contenida en todo tipo de suelos. Suelen usarse en campos deportivos, presas y diques, túneles, sótanos, muros de contención en suelo reforzado y rellenos sanitarios entre otros.

Existen dos tipos de geotextiles: no tejidos y tejidos; ambos fabricados en polipropileno.

* Como su nombre lo indica los geotextiles son textiles permeables sintéticos, fabricados en su gran mayoría con polipropileno, resistentes a la tensión y al punzonamiento.

Geometría: en la sección transversal de una vía se define como h_0 el espesor de la capa granular cuando no se utiliza Geotextil, como h el espesor de la capa granular cuando hay Geotextil y $\%h$ la reducción de espesor de la capa granular que resulta de la introducción de un Geotextil a nivel de subrasante. Para este método analítico se supone que el suelo de sub-rasante es homogéneo. La geometría debe estar compuesta por: capa de asfalto, subrasante, subbase Granular, base Granular.

Eje de carga: todas las cargas de los vehículos se llevan a un eje simple de carga equivalente, que se utiliza para el desarrollo de la metodología de refuerzo.

Material granular: el material granular debe cumplir con las propiedades requeridas para garantizar una adecuada distribución de la carga aplicada. Tanto para las capas de sub-base granular como de base granular, el material debe cumplir con las exigencias físico-mecánicas correspondientes y con las condiciones de instalación requeridas.

Suelo de sub-rasante: el suelo de sub-rasante se supone saturado con una baja permeabilidad. Sin embargo, bajo la aplicación de carga rápida como la carga de tráfico, el suelo de sub-rasante trabaja bajo condición no drenada, por lo tanto se presentan las siguientes propiedades:

- El suelo de sub-rasante es incompresible
- El ángulo de fricción es nulo



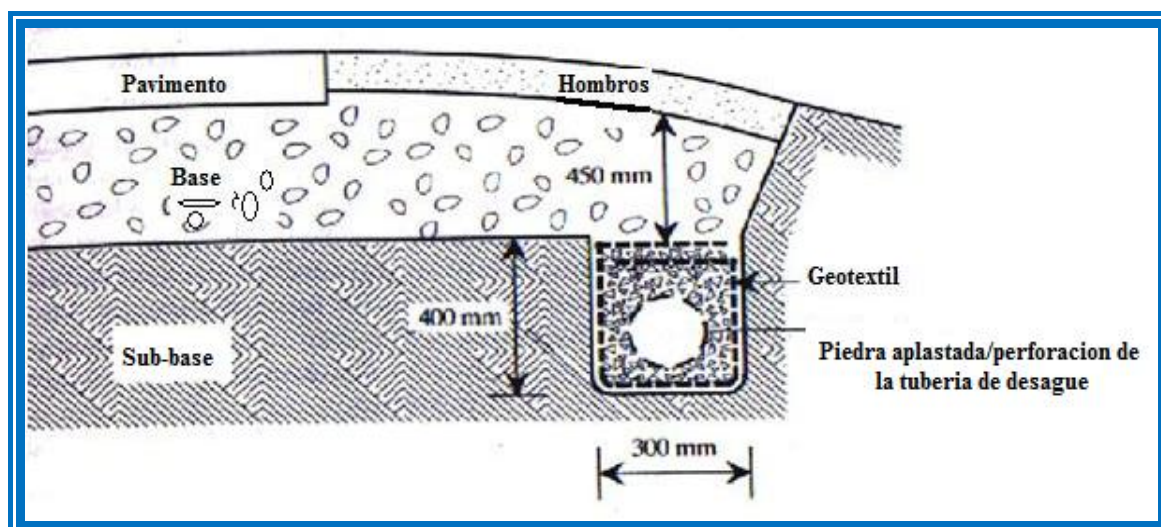
Bajo este concepto, la resistencia al corte es igual a la cohesión no drenada. El valor de CBR de la sub-rasante se obtiene de ensayos de laboratorio, el valor a utilizar debe ser CBR sumergido para trabajar con las condiciones más críticas y desfavorables del material.

3.3. Tipos de Geotextiles:

✚ Geotextiles no tejidos: Geotextil producido por amarres (mediante fricción y/o cohesión y/o adhesión de fibras orientadas con una dirección específica o aleatoria). Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cuál sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los Geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o agujados
- Geotextiles no tejidos ligados térmicamente o termosoldados
- Geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados

✚ Geotextiles tejidos: Es producido mediante el entrelazado, generalmente en ángulos rectos, de dos o más juegos de fibras, cintas u otros filamentos. son aquellos formados por hilos entrecruzados en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los tejidos de calada son los formados por hilos de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de los hilos empleados). Su estructura es plana. Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.



Aplicaciones de Geotextiles no tejidos.

Fig. # 2



Aplicaciones de Geotextiles no tejidos.

- Filtros para obras de drenaje
- Frontera protectora entre las capas de la sub.-base y la sub.-rasante
- Separador de los diferentes estratos de un relleno
- Protección en sistemas de retención de tierras como taludes armados, muros de gaviones, muros de geosintéticos, etc.

Los geotextiles no tejidos pueden ser de fibra corta ó filamento continuo, los de fibra corta se obtienen a partir de fibras ó filamentos de longitud comprendida entre 50 y 150 cm, y los de filamento continuo se obtienen por hilado directo de un polímero y posterior formación de la napa

Aplicaciones de Geotextiles tejidos.

- Mejorar la capacidad de soporte a un estrato de suelo (distribución de las cargas en un área mayor).
- Incrementar la vida útil del pavimento (como protector de la estructura contra la invasión de lodos o punzonamiento a la sub.-rasante).
- Reductor del espesor de la capa de agregados en vías no pavimentadas (caminos rurales), de hasta un 50%,
- Control de sedimentos en obras aledañas

Dentro de los *geotextiles tejidos* se pueden especificar diferentes modalidades:

Geotextil tejido plano: Fabricado mediante el hilado por un procedimiento textil de una película polimérica extruida. Es el tejido más simple y común, conocido también como “uno arriba y uno abajo”.

Geotextil tejido canasta: Este tejido usa dos o más urdimbres y/o estambres de relleno como uno. Por ejemplo, un tejido canasta dos por dos toma dos urdimbres y dos estambres de trama actuando como unidades individuales.

Geotextil tejido cruzado: Una línea diagonal o cruzada se mueve a través de la tela moviendo intersecciones de hilos un pico más alto en sucesivos hilos de urdimbre. También pueden formarse otros modelos relacionados, por ejemplo, cruzados profundos y cruzados quebrados.

Geotextil tejido raso: Si el estambre de la urdimbre (o trama) se lleva sobre muchos estambres de trama (o urdimbre), resultará una superficie de tela lisa. Esto se llama un tejido satinado y es usualmente liso y brillante. Generalmente no se usa para telas de geotextiles.

La fabricación de telas no tejidas es muy diferente de las telas tejidas. Cada sistema de fabricación no tejido generalmente incluye cuatro pasos básicos: preparación de la fibra, formación del tejido, unión del tejido, y tratamiento posterior.



El uso de los Geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que va a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el Geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determine la elección del tipo de Geotextil que se debe utilizar.

3.4. Funciones de los Geotextiles

1.Separación (Para subrasante de suelo firme): El Geotextil se convierte en una barrera para la migración de partículas entre los dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un Geotextil que retenga las partículas de suelo y evita el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido. En el caso de las estructuras de pavimento donde se coloca suelo granular (base, sub-base, relleno) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

- a. Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
- b. Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

Además sirve como separador:

- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados.
- Entre la subrasante y la base de piedra en caminos y pistas de aterrizaje pavimentados.
- Entre la subrasante y el balasto en vías férreas
- Entre rellenos y capas de base de piedra.
- Entre geomembranas y capas de drenaje de piedra
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos como sobrecargas
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para rellenos de caminos
- Entre la cimentación y terraplenes de suelos para presas de tierra y roca
- Entre la cimentación y capas de suelo encapsuladas
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención rígidos
- Entre los suelos de cimentación y muros de retención flexibles
- Entre los suelos de cimentación y pilas de almacenamiento
- Entre taludes y bermas de estabilidad aguas abajo
- Debajo de áreas de sardineles
- Debajo de áreas de estacionamiento
- Debajo de campos deportivos y de atletismo
- Debajo de bloques prefabricados y paneles para pavimentos estéticos
- Entre capas de drenaje en masas de filtro pobremente gradado
- Entre diversas zonas de presas en tierra
- Entre capas antiguas y nuevas de asfalto



2.Filtración : permitir el flujo del agua reteniendo partículas. En la práctica se utiliza el Geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. En los embalses con sistema de drenaje en la base, a fin de localizar posibles fugas, se utiliza como filtro en los tubos de drenaje a fin de evitar el taponamiento de los orificios de drenaje de dichos tubos.

Se usa como filtro en:

- En lugar de filtro de suelo granular
- Debajo de base de piedras para caminos y pistas de aterrizaje no pavimentados
- Debajo de base de piedra para caminos y pistas de aterrizaje pavimentados
- Debajo de balasto en vías férreas
- Alrededor de piedra picada que rodea los subdrenes
- Alrededor de piedra picada sin subdrenes (Drenes franceses)
- Alrededor de piedra y tubería perforada en pisos de adoquines
- Debajo de rellenos sanitarios para los lixiviados
- Para filtrar rellenos hidráulicos
- Como protección contra los sedimentos
- Como cortina a los sedimentos
- Como barrera contra la nieve
- Como un encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados
- Como un encofrado flexible para restaurar la integridad en la minería subterránea
- Para proteger el material de drenaje en chimeneas
- Para proteger el material de drenaje en galerías
- Entre el suelo de relleno y vacíos en muros de retención
- Entre el suelo de relleno y muros de gaviones
- Alrededor de núcleos moldeados en geodrenes
- Alrededor de núcleos moldeados en drenes de zanja

3.Control de Erosión (Debajo de rocas)

4.Control de sedimentos (Cerramiento temporal de sedimentos)

5.Control de la reflexión de grietas (Estructura de pavimentos)

6.Refuerzo: El refuerzo con geotextiles soporta la fuerza de tensión del suelo, disminuyendo la fuerza de corte y aumentando la resistencia al corte del suelo, con el incremento del esfuerzo normal que actúa en las potenciales superficies de corte. En efecto, cuando el suelo se deforma a lo largo de una superficie de ruptura (en cortante), se generan deformaciones a compresión y tracción. El refuerzo comienza a actuar en forma eficiente cuando su inclinación iguala la dirección en la que se haya desarrollado la deformación a tracción en el suelo deformado, entonces la deformación por corte del suelo causa una fuerza de tensión en el Geotextil de refuerzo. El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte 202 cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de Geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el Geotextil (parte convexa del Geotextil).



Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular de las vías, la acción de membrana es muy importante para controlar el ahuellamiento en las vías y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.

Sirve para reforzar en:

- Refuerzo de suelos débiles y otros materiales
- Sobre suelos blandos para caminos no pavimentados
- Sobre suelos blandos para campos de aterrizaje
- Sobre suelos blandos para vías férreas
- Sobre suelos blandos para rellenos
- Sobre suelos blandos para en campos deportivos y de atletismo
- Sobre rellenos inestables como sistemas de cerramiento
- Para confinamiento lateral de balasto en vías férreas
- Para envolver suelos en sistemas de telas encapsuladas
- Para construir muros en tela reforzada
- Para reforzar terraplenes
- Para ayudar en la construcción de taludes pronunciados
- Para reforzar presas de tierra y roca
- Para estabilización temporal de taludes
- Para detener o disminuir la reptación en taludes de suelo
- Para reforzar pavimentos flexibles con juntas
- Como refuerzo basal en áreas cársticas
- Como refuerzo basal entre cabezotes de pilotes de cimentación
- Para hacer un efecto de “puente” entre rocas agrietadas y diaclasadas
- Para mantener colchones de filtro de piedra gradada
- Como sustrato de bloques articulados de concreto
- Para estabilizar patios de almacenamiento no pavimentados y áreas de descanso
- Para anclar paneles frontales en muros de tierra reforzada
- Para anclar bloques de concreto en muros de retención pequeños
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por suelos
- Para prevenir el punzonamiento de geomembranas por materiales de relleno
- Para crear taludes laterales más estables debido a la alta resistencia friccionante
- Para retener suelos blandos en la construcción de presas de tierra
- Como membranas en suelos encapsulados
- Para la compactación y consolidación in-situ de suelos marginales
- Para hacer un efecto de “puente” sobre rellenos irregulares durante el cerramiento del sitio
- Para ayudar en la capacidad portante de cimentaciones superficiales

7. Protección: Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico. En los embalses impermeabilizados este sistema geotécnico se denomina pantalla impermeabilizante y está formado por el Geotextil y la Geomembrana. El Geotextil protege a la Geomembrana de posibles perforaciones o roturas, al formar una barrera antipunzonante bajo la acción de la presión de la columna de agua durante la explotación del embalse, del paso de personal y maquinaria durante la construcción, mantenimiento, posibles reparaciones, etc.



También evita las perforaciones que podría ocasionar el crecimiento de plantas debajo de la pantalla impermeabilizante. De igual forma, protege a la Geomembrana del rozamiento con el soporte que se produce durante las sucesivas dilataciones y contracciones que experimenta por efecto de las variaciones térmicas. La lámina impermeabilizante se adapta a las irregularidades del terreno. Las irregularidades pronunciadas implican una tensión en la lámina la cual a su vez causa una pérdida de espesor en la misma dando origen a puntos débiles en los que se podrían producir posibles perforaciones o roturas causadas por objetos punzantes del terreno. La interposición del Geotextil evitará la pérdida de estanqueidad que se produciría por todas estas causas.

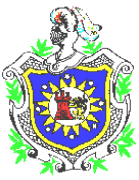
8.Impermeabilizacion: Esta función se consigue desarrollar mediante la impregnación del Geotextil con asfalto u otro material impermeabilizante sintético. El Geotextil debe tener la resistencia y rigidez necesaria para la colocación del mismo, así como la capacidad de deformación suficiente para compensar las tensiones térmicas.

9.Mejora la capacidad portante del terreno: en la construcción de vías pavimentadas y no pavimentadas, los geotextiles, mejoran la capacidad portante del terreno, al permitir una mejor distribución de las cargas producidas por el tráfico. Actúan como separador entre la sub.-base y la subrasante, evitando el ascenso de finos debido a cargas repetitivas.

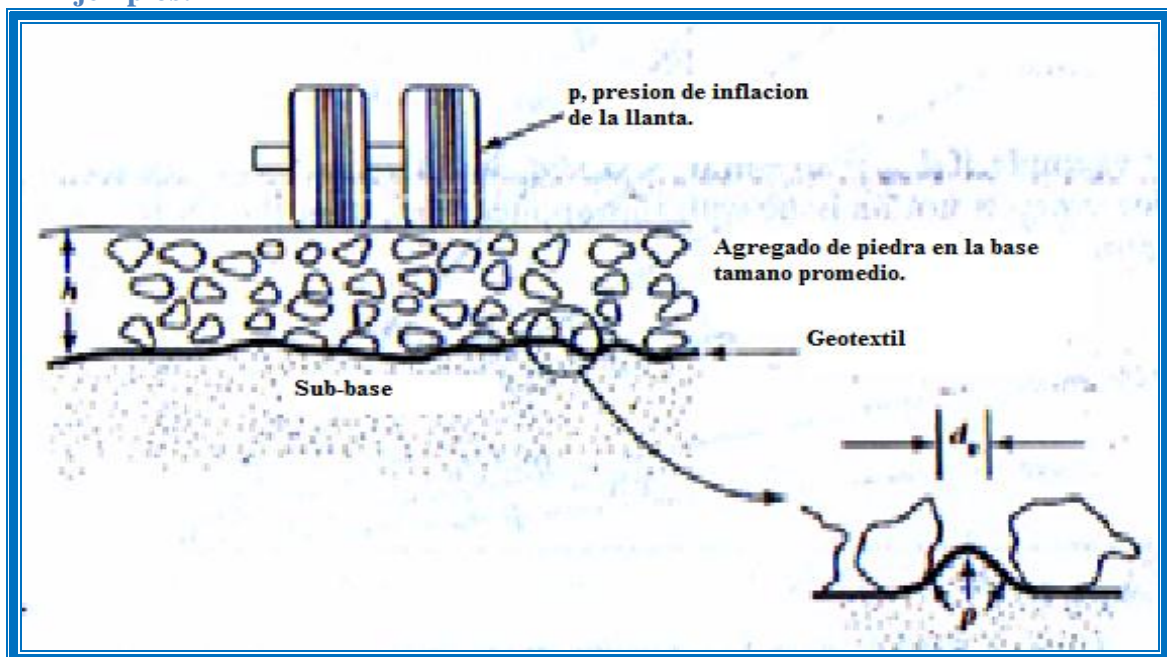
10.Drenaje: Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del Geotextil. La efectividad del drenaje de un suelo dependerá de la capacidad de drenaje del Geotextil empleado y del gradiente de presiones a lo largo del camino de evacuación del fluido. Para realizar el drenaje satisfactoriamente el espesor debe ser suficiente al aumentar la tensión normal al plano de conducción. Adicionalmente el Geotextil debe impedir el lavado ó transporte de partículas finas, las cuales al depositarse en él, reducen su permeabilidad horizontal. Además debe garantizar el transporte de agua en su plano sin ocasionar grandes pérdidas de presión.

Los geotextiles se usan para drenar en:

- Como un dren chimenea en una presa de tierra
- Como una galería de drenaje en una presa de tierra
- Como un interceptor de drenaje para flujo horizontal
- Como una cubierta de drenaje debajo de un relleno de sobrecarga
- Como un dren detrás de un muro de retención
- Como un dren detrás del balasto de vías férreas
- Como un dren de agua debajo de geomembranas
- Como un dren de gas debajo de geomembranas
- Como un dren debajo de campos deportivos
- Como un dren para jardines de techo
- Como un disipador de presión de poros en rellenos de tierra
- En reemplazo de drenes de arena
- Como una barrera capilar en áreas sensibles al congelamiento
- Como una barrera capilar para la migración de sales en áreas áridas
- Para disipar el agua de filtración de las superficies de suelo ó roca expuestas



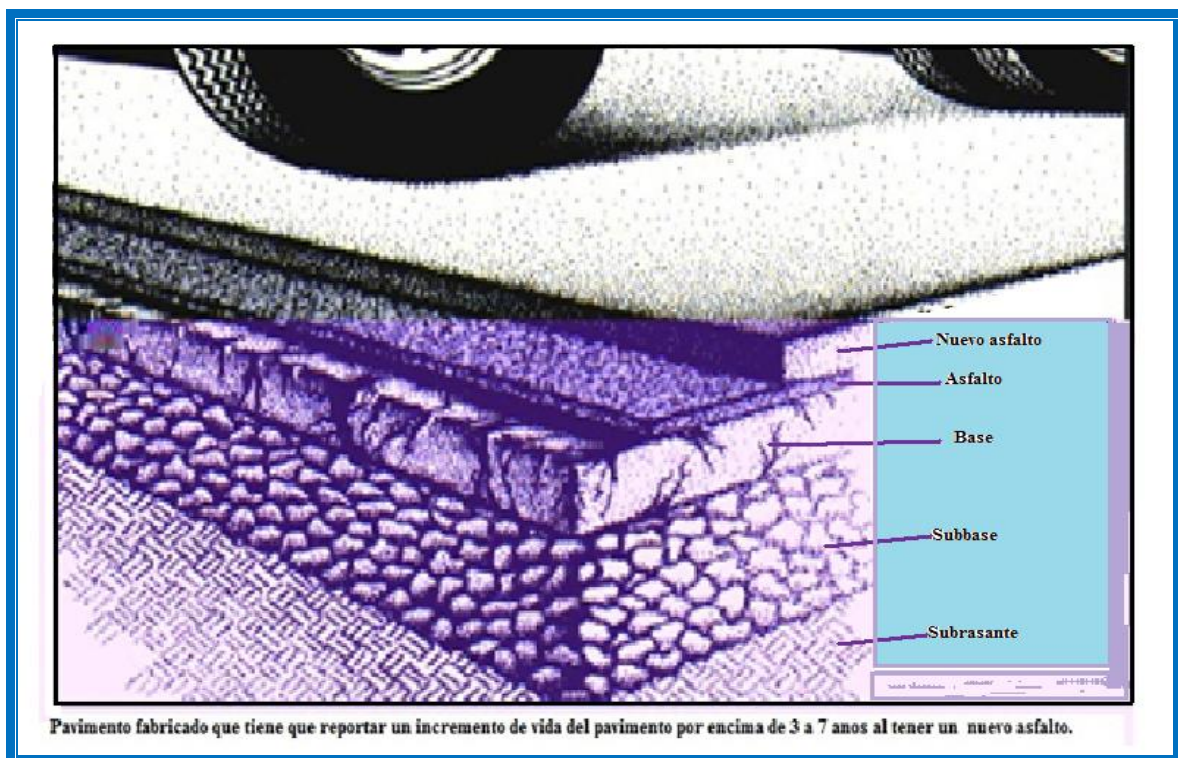
Ejemplos:



Protege los materiales del suelo.

Fig. # 3

- Permiten drenar estratos de suelo de manera confiable protegiendo los materiales alrededor.
- Rehabilitación de vías que han empezado a deteriorarse.

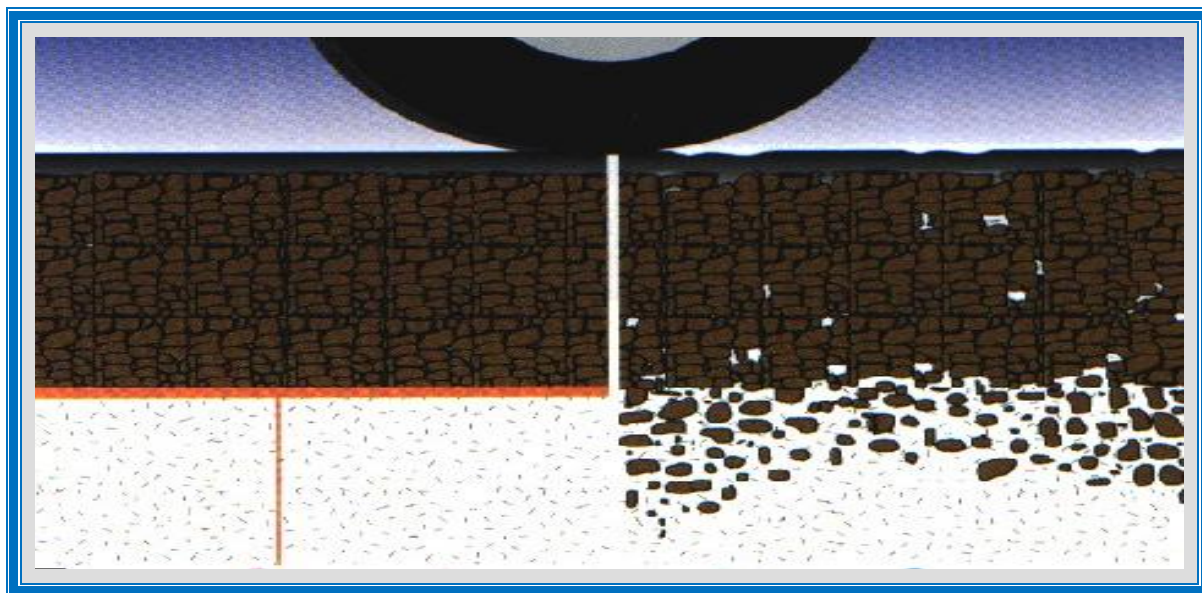


Reducción de espesores.

Fig. # 4



Reducir el espesor de la capa granular que conforma la estructura del sistema.
Sin los geotextiles el presupuesto de obra deberá contemplar adicional de materiales perdidos en el interfase, durante la construcción y durante su vida útil).



Incremento de la capacidad portante.

Fig. # 5

Incremento de la capacidad portante del sistema. Mayor distribución de la carga, brindan capacidad a tensión en los sistemas de suelo reforzado, pudiendo inclusive eliminar los requerimientos de concreto y acero.

Factores de Seguridad para la función de separación y estabilización

Factores de Seguridad			
Área de aplicación	Daños por instalación	Degradación química	Degradación biológica
Separación, estabilización Y refuerzo.	1.1 a 2.5	1.0 a 2.5	1.0 a 1.2

Tabla # 7

Factores de Seguridad

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil.



Determinación del tipo de geotextiles a usar en el filtro.

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el Geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad que permita el paso del flujo de una manera eficiente. Para llegar a la selección del Geotextil no sólo hay que tener en cuenta lo anterior, sino además, la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad, todos estos criterios se explican brevemente a continuación:

Retención: Asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia donde se dirige el flujo.

Permeabilidad: Debe permitir un adecuado flujo del agua a través del Geotextil considerado su habilidad para esto.

Colmatación: Es el resultado del taponamiento de algunos de sus vacíos por la penetración de partículas de suelo fino, con una incidencia en la reducción de la permeabilidad, por lo tanto el Geotextil deberá que tener un número mínimo de vacíos o una alta porosidad.

Supervivencia: El Geotextil debe tener unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objetivo que soporte las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido y resistencia al rasgado.

Durabilidad: Es la resistencia que debe tener un Geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo.

La metodología de diseño consiste en revisar, cuál de los geotextiles satisface las características hidráulicas y mecánicas que resulten de la revisión de los criterios de diseño que se presentan a continuación.

Criterio de permeabilidad: el coeficiente de permeabilidad es la propiedad hidráulica por medio de la cual, el geotextil permite un adecuado paso de flujo perpendicular al plano del mismo; para revisar la permeabilidad del Geotextil se debe tener en cuenta lo siguiente:

Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50%, y de acuerdo con el criterio de Schober y Teindl (1979); Water (1980); Carroll (1983); Christopher y Holtz (1985) y otros:

Kg: permeabilidad del Geotextil

Ks: permeabilidad del suelo

En estas condiciones también se recomienda colocar una capa de arena media a gruesa.



Criterio de Colmatación: en aplicaciones críticas o en proyectos que involucren suelos muy finos se recomienda realizar ensayos de colmatación con los suelos del sitio; la norma que describe este ensayo es la ASTM 5101 – 90. Este criterio considera la posibilidad de taparse algunos de sus vacíos debido a incrustaciones de partículas de suelo. Por lo tanto el geotextil debe tener un porcentaje mínimo de espacios vacíos. Los geotextiles con una mayor resistencia a la colmatación, son los geotextiles no tejidos punzonados por agujas, en los cuales el riesgo a que se taponen gran parte de sus orificios es muy bajo debido al espesor que poseen y a los altos valores de porosidad que presentan. Los geotextiles no tejidos unidos por temperaturas o calandrados, son mucho mas delgados y rígidos, razón por la cual se parecen en su comportamiento a los geotextiles tejidos, Leuttich (1993).

Los geotextiles tejidos tiene baja porosidad y el riesgo de colmatación muy alto, con la consecuencia de una pérdida súbita en la permeabilidad. Razón por la cual no se recomienda usar como filtros en sistemas de drenaje. De acuerdo con el criterio de Chistopher y Holtz, 1985; R. Koemer, 1990, los geotextiles usados como medios filtrantes deben tener una porosidad: > 50%..

Criterio de supervivencia: el geotextil en el proceso de instalación y a los largo de su vida útil puede estar sometido a unos esfuerzos, los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecte drásticamente sus propiedades hidráulicas y físicas. En la tabla No 3 se presentan las propiedades mínimas que se deben cumplir. D. M. Luettich, J. P. Giroud, R.C. Bachus 1992.

Condiciones moderadas de instalación, con esfuerzos altos de contacto.	Resistencia a la tensión, método Grab, ASTM D4632 N	Elongación % ASTM D 4632	Resistencia de la costura. ASTM D 4632 N	Resistencia al punzonamiento. ASTM D 4833 N	Resistencia al estallido. Mullen Burst ASTM D 3786 kPa	Resistencia al rasgado trapezoidal. ASTM D 4533 N
	700	N/A	630	250	1300	250

Tabla # 8

Criterio de Supervivencia

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil.

Criterio de durabilidad: los geotextiles por ser un material fabricado de polipropileno, no son biodegradables, son altamente resistentes al ataque químico como a los lixiviados. No se recomienda el uso de los geotextiles como filtros en sitios donde vayan a quedar expuestos a los rayos ultravioleta por un tiempo prolongado. Donde por razones de instalación y funcionamiento los geotextiles estén expuestos al ataque de los rayos ultravioleta, estos deberán estar fabricados por compuestos, que les proporcionen una alta resistencia a la degradación UV.

Resistencia admisible= Resultado de ensayo / Factores de Seguridad de reducción



3.5. Beneficios de los Geotextiles

El diseño de una estructura de pavimento depende de varios factores que afectaran la vía durante su vida útil, como son, el tránsito, las condiciones ambientales, las características del suelo de subrasante y de los materiales que conforman la estructura de pavimento.

Las diferentes alternativas en el diseño de pavimento normalmente resultan al evaluar varias posibilidades con los siguientes parámetros:

- Espesores de las capas granulares.
- Propiedades mecánicas de los materiales granulares.
- Capacidad portante de la subrasante.

En el diseño, el tránsito es un parámetro fijo y las características de los materiales como el concreto asfáltico o el concreto rígido se modifican como una última alternativa, tratando siempre de encontrar una solución definitiva al cambiar las características de los suelos y los materiales que conforman las capas de subrasante y granulares respectivamente.

El Geotextil de refuerzo permiten incrementar la capacidad portante del sistema que conforma la estructura de pavimento, lo que se pueda traducir en una reducción del espesor de la capa granular, en un mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que hacen parte de la capa granular o en un incremento de la vida útil de la vía en estudio.

De igual manera, al mejorar las condiciones mecánica de la estructura de pavimento se puede obtener un aumento del tránsito de diseño, evaluado con la cantidad de ejes equivalentes que van a pasar durante el periodo de operación de la vía.

En resumen, los efectos de la utilización de un Geotextil de refuerzo sobre la capa de subrasante de una estructura de pavimento son los siguientes:

- Incremento de la capacidad portante del sistema, permitiendo la construcción de vías sobre suelos blandos y saturados.
- Reducción de los espesores de las capas granulares base y subbase.
- Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la estructura del pavimento.
- Incremento de la vida útil de la vía.
- Aumento de los ejes equivalentes de diseño de la vía.
- evitan el desarrollo de baches o hundimientos
- Mejoran la superficie de rodadura
- Reducen el programa de mantenimiento de la vía



3.6. Clasificación de los Geotextiles según su composición.

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al Geotextil con fibras o filamentos sintéticos. Sin embargo al presentar gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

a. Fibras naturales.

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de Geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

b. Fibras artificiales.

Son las derivadas de la celulosa. Son el rayón, la viscosa y el acetato.

c. Fibras sintéticas.

Cuando al Geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos. Los Geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias. Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poli acrílico.

3.7. Procesos de Fabricación

El papel de los fabricantes en la simulación y crecimiento del mercado de los geotextiles ha sido grande y positivo. Se han desarrollado muchos tipos de fibras y estilos de tejidos, tanto para uso general como para aplicaciones específicas. Hay tres puntos que son importantes para los fabricantes: tipo de polímero, tipo de fibra y estilo de tejido.

Tipo de polímero: El polímero usado en la fabricación de fibras de Geotextil se hace de los siguientes materiales poliméricos:

Polipropileno ~ 85%

Poliéster ~ 12%

Polietileno ~ 2%

Poliamida (nylon) ~ 1%

Tipo de fibra: Los polímeros apropiadamente formulados se hacen en fibras (o hebras, donde una hebra consiste de una ó más fibras), fundiéndolas y forzándolas a través de un carrete. Los filamentos de fibra resultantes son luego transformados por uno de tres métodos: seco, húmedo ó fundido. La mayor parte de fibras geotextiles se hacen por el proceso de fundido; ellas incluyen poliolefinas, poliéster y nylon. Aquí el endurecimiento es por enfriamiento y simultáneamente son estiradas, el estirado reduce el diámetro de la fibra y ocasiona que las moléculas en la fibra se acomoden en una disposición ordenada. De esta forma se incrementa la resistencia de las fibras, su elongación en la falla disminuye y su módulo se incrementa. Así se pueden alcanzar una gran variedad de respuestas de esfuerzos vs. deformaciones.



Esos monofilamentos también se pueden trenzar juntos para formar una hebra multifilamento. El diámetro de la fibra está caracterizado por su denier. El denier se define como el peso en gramos de 9000 m de hebras, El término tex relacionado a los textiles, es el peso en gramos de 1000 m de hebras. Las fibras enhebradas son diferentes y se producen por filamentos continuos de un denier específico en un dispositivo llamado remolque. Un remolque puede contener miles de filamento continuos. Estos haces luego se pliegan y se cortan en longitudes cortas de hebras de 25 a 100 mm.

Las fibras cortas ó hebras se giran ó rotan luego en estopas largas para la fabricación de geotextiles. El último tipo de fibra a mencionarse son las llamadas películas ó cintas hendidas, las cuales se hacen de una lámina continua de polímero que se corta en fibras mediante navaja o son lanzadas por chorros de aire. Las fibras resultantes similares a cintas se denominan como fibras monofilamento de película hendida. Estos monofilamentos también se pueden torcer juntos para hacer multifilamentos de película hendida.

En resumen, las principales fibras usadas en la construcción de geotextiles son monofilamentos, multifilamento, hiladas enhebradas, monofilamento hendidos, multifilamentos hendidos y cinta plana.

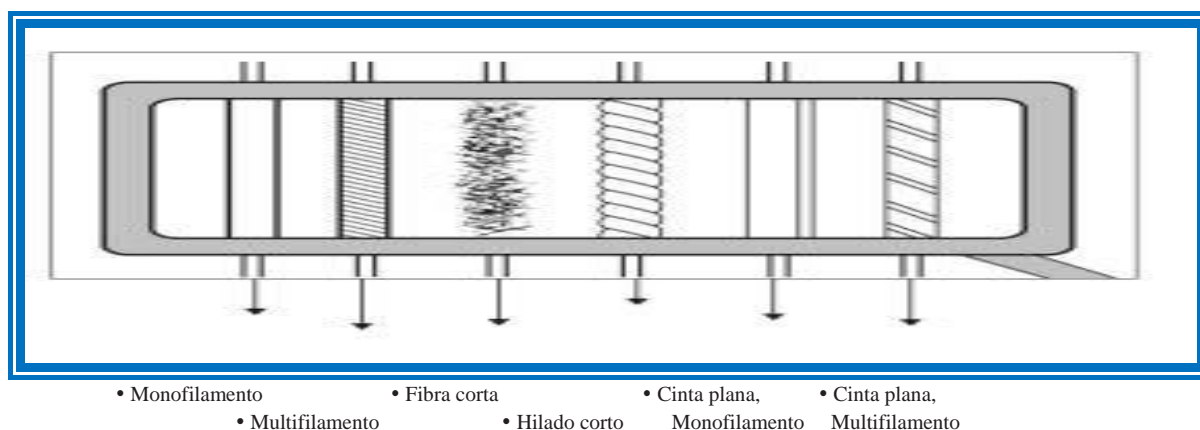


Fig. # 6

Fibras usadas en la construcción de Geotextiles.

Según el tipo de Fibra.

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil.

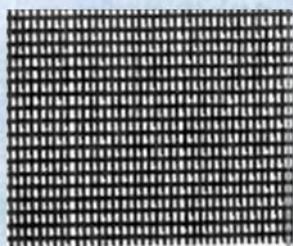
Los peines dejan caer los estambres de la urdimbre, permitiendo a una lanzadera insertar el estambre de la trama. Los peines se dejan caer luego la trama hacia abajo, encapsulando el estambre de la trama y permitiendo el regreso de la lanzadera en la dirección opuesta con otro estambre de la trama. Los peines luego se llevan hacia arriba de regreso, y el proceso continua en este ciclo.

Estilo de tejido: Una vez se han fabricado las hiladas, ellas se convierten en telas. Las opciones básicas de fabricación son tejidas, no tejidas, o de punto (rara vez utilizadas como geotextiles).

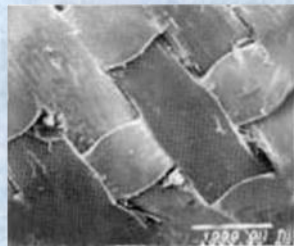


Tipos de fibras utilizadas en la construcción de geotextiles

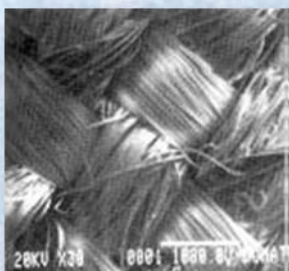
- a. Monofilamento Tejido
- b. Monofilamento tejido calandrado
- c. Multifilamento tejido
- d. Lámina ranurada (hendida) tejida
- e. No tejido punzonado por agujas
- f. No tejido punzonado unido por calor



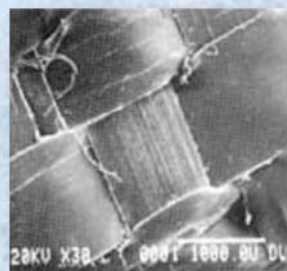
a) Monofilamento Tejido



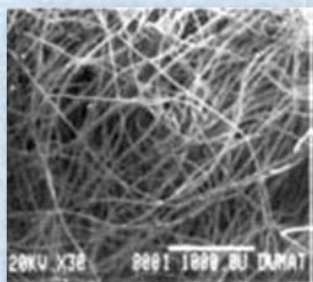
b) Monofilamento Tejido calandrado



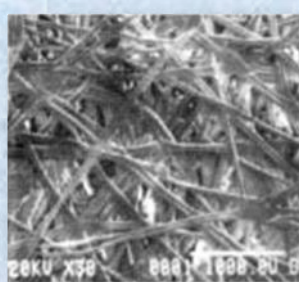
c) Multifilamento Tejido



d) Lámina ranurada (hendida) tejida



e) No Tejido Punzonado por agujas



f) No Tejido Punzonado unido por calor

Fig. # 7
Fibras usadas en la construcción de Geotextiles.
Según el Estilo de Tejido
Fuente: Manual de Construcción con Geotextil.



Esta acción da origen a la nomenclatura de la dirección del urdimbre (la dirección en que se hace el textil, o dirección larga), trama o dirección de relleno (la dirección transversal ó dirección corta), y orillo (bordes de la tela donde el estambre de la trama regresa de dirección y reúne los estambres de la trama exterior en cada lado de la tela). Esta acción da origen a los diversos tipos de tejidos comunes para la formación de telas para uso como geotextiles.

Existen básicamente tres clases de procesos de fabricación:

Geotextiles punzonados por agujas: Se forman a partir de una superposición de fibras o filamentos ordenados aleatoriamente (napa) que se consolida al pasar por un campo de agujas en la máquina punzonadora. La frecuencia de golpes o penetraciones de las agujas va consolidando el Geotextil No Tejido. Los Geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas prestaciones mecánicas, manteniendo parte del espesor de la napa el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptabilidad a los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

Geotextiles no tejidos termosoldados: Se forman a partir de una napa en la que la unión de fibras y consolidación del Geotextil se logra por fusión de las fibras y soldadura en los puntos de intersección mediante un calandrado a temperatura elevada. Su espesor y su elongación son algo inferiores a la de los agujados, por lo cual su transmisividad y permeabilidad son menores, tienen buenas prestaciones mecánicas y poca adaptabilidad (son algo rígidos).

Geotextiles no tejidos ligados químicamente: La unión entre sus filamentos se consigue incorporando ligantes químicos o resinas. Este sistema no se utiliza para la fabricación de Geotextiles de protección y separación, puesto que en su composición (de los de protección) deben de evitarse elementos químicos distintos a los polímeros, que pudiesen alterar sus propiedades y provocar incompatibilidades químicas con otros materiales con los que pudiese estar en contacto. Su empleo está muy poco extendido debido a su elevado costo.

Tabla de Traslapos requeridos.

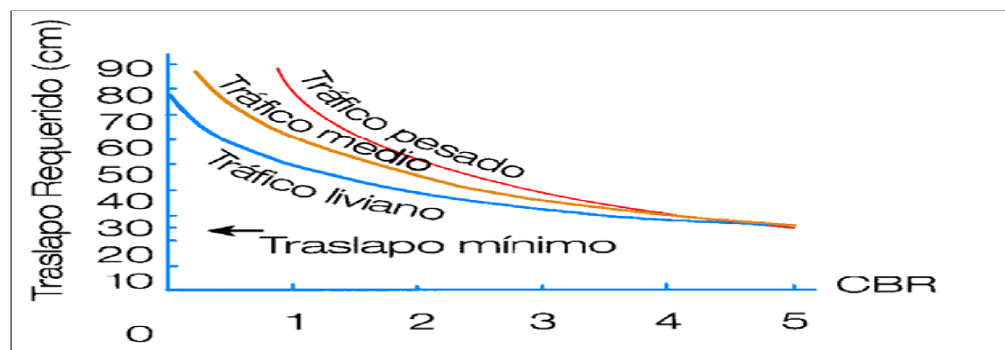


Fig. # 8

Traslapos requeridos

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil.



3.8. Secuencia de instalación

1. Prepare el terreno, removiendo los bloques de roca, troncos y arbustos que tenga la sub-rasante. Rellene los huecos hasta conformar una superficie plana.

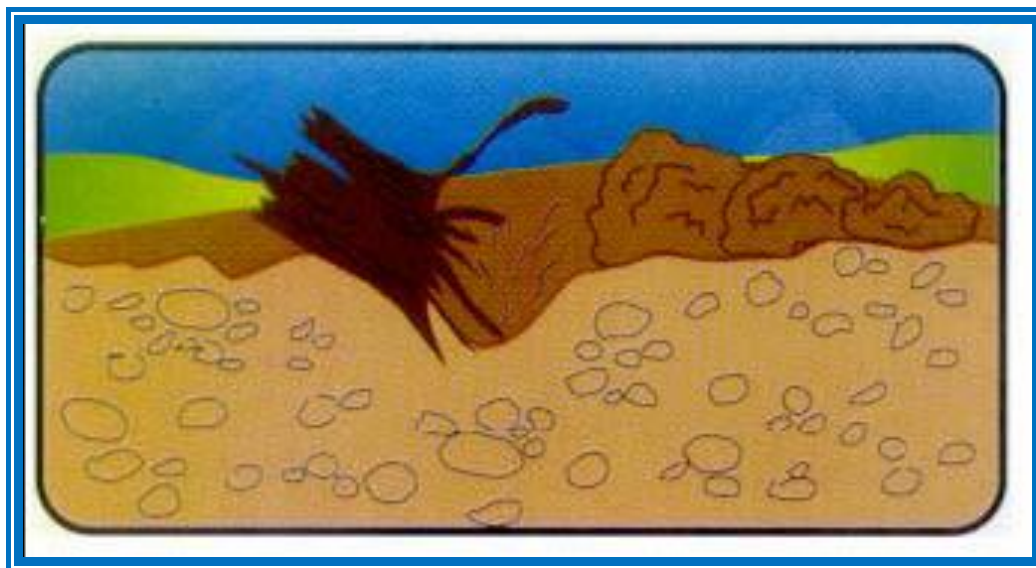


Fig. 3.8.1

2. Desenrolle el Geotextil, directamente sobre la superficie lograda en el paso anterior, con el fin de estabilizar y mejorar la subrasante. Si es necesario más de un rollo, asegúrese de hacer los traslajos requeridos.

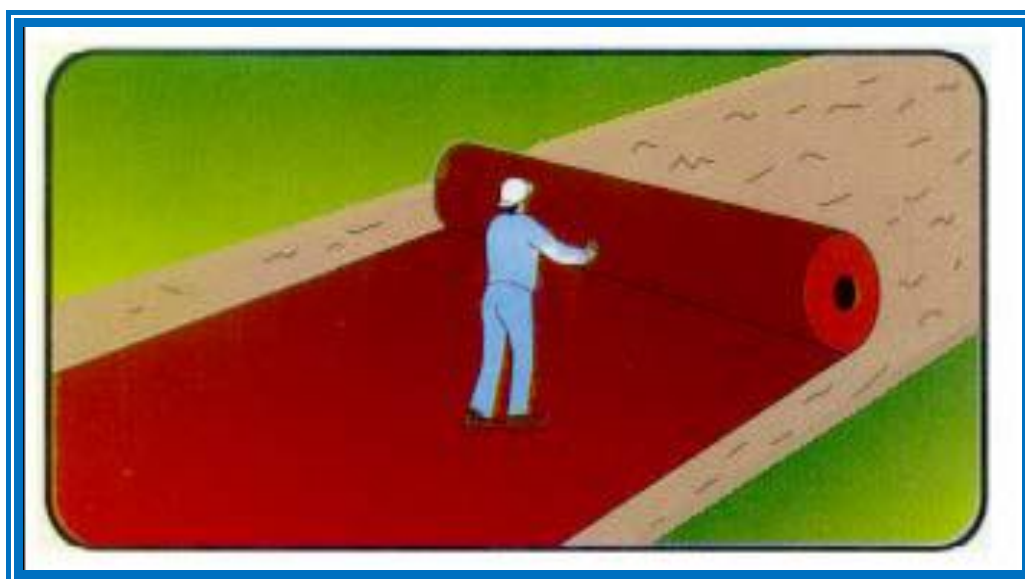


Fig. 3.8.2



3. Descargue el material de agregados en el lugar escogido. No permita al tránsito de maquinaria sobre el Geotextil hasta que se conforme la primera capa compactada.

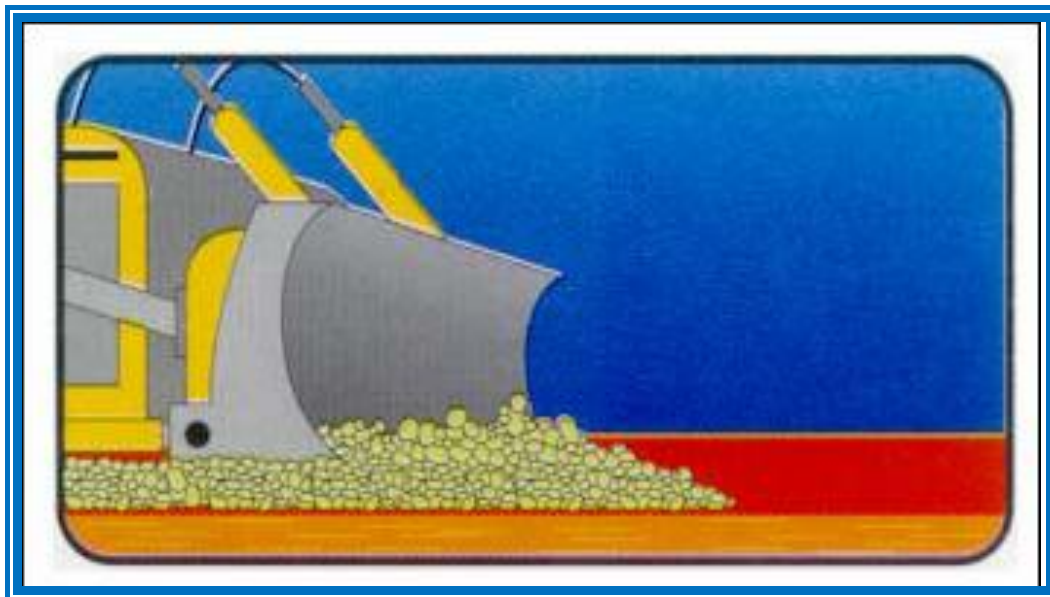


Fig. 3.8.3

4. Esparza el material de relleno sobre el Geotextil, con una primera capa compactada de 15 cms. En caso de sub.-rasantes muy blandas compacte ligeramente las dos primeras capas.

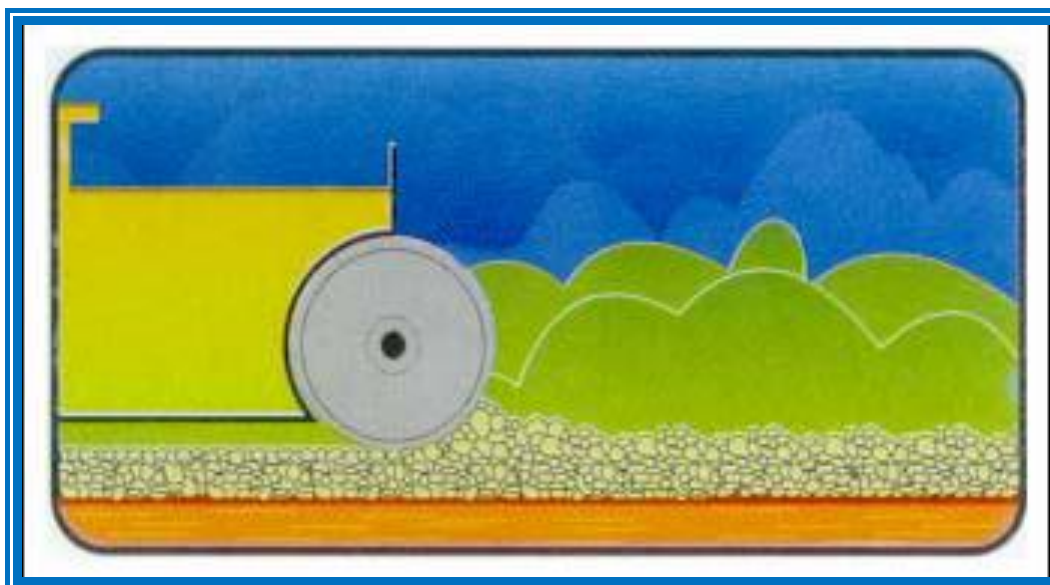


Fig. 3.8.4



5. Finalmente compacte el material de relleno con el equipo adecuado para dar paso al tráfico temporal de la vía o comenzar labores de colocación de la capa de rodadura.

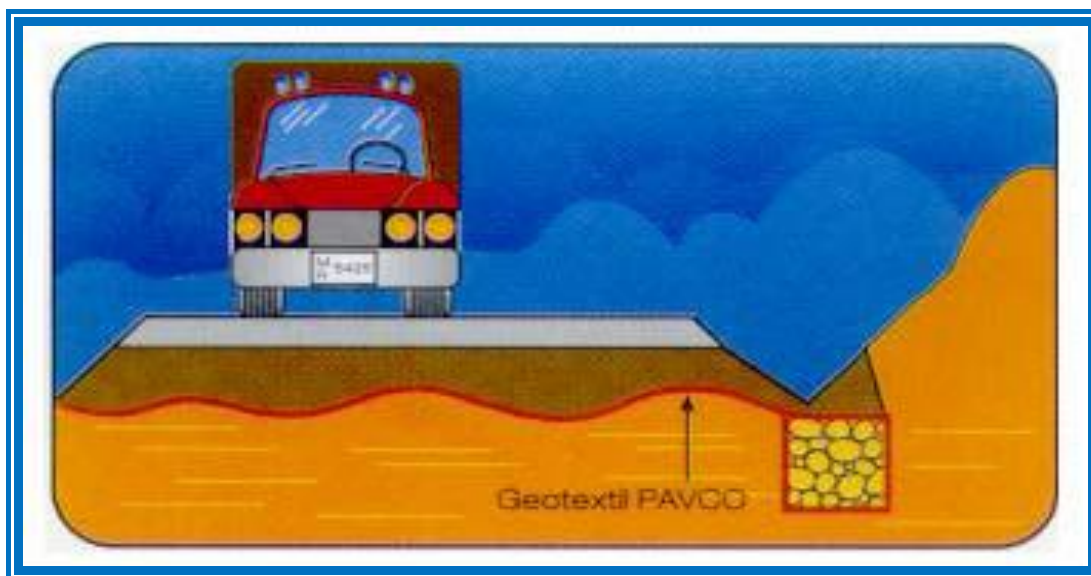


Fig. 3.8.5

3.9. Casos más comunes de uso de Geotextiles

✓ Muros de contención reforzados con Geotextil

Uno de los tipos de obras más comunes en la ingeniería de vías ha sido la de muros de contención, bien sea para la conservación de las dimensiones de la banca o contención de suelos en deslizamientos. Tradicionalmente se han venido utilizando muros de contención por gravedad que absorben las presiones horizontales gracias a su gran masa. Una de las alternativas presentadas a mediados de la década de los sesenta, fue creada por el ingeniero francés Henry Vidal, que consistía en la inclusión de una serie de tiras metálicas, amarradas a unos elementos externos que componían la cara del muro, hasta una determinada longitud dentro del relleno utilizado, para conformar así la masa de contención.

Este es un sistema que se ha venido empleando con relativo éxito en la actualidad y tiene el nombre registrado de tierra armada. Se ha visto que aunque el sistema tiene un buen desempeño, su principal problema radica en la determinación de la duración del refuerzo metálico dentro del suelo, ya que este se encuentra expuesto a un proceso permanente de corrosión. Gracias al desarrollo de nuevos materiales que pueden soportar las condiciones de humedad y de acidez o alcalinidad dentro del suelo, se ha venido implementando el uso de mantos sintéticos tales como los geotextiles, para que suministren refuerzo, debido a las características mecánicas que estos poseen, como su resistencia a la tensión. Los estudios que condujeron al uso de esta nueva tecnología tuvieron origen en Francia y Suecia a finales de la década de los setenta.



Los muros de contención reforzados con geotextil se han convertido mundialmente en una alternativa de construcción frente a los muros de concreto reforzado y a los terraplenes conformados naturalmente, principalmente cuando hay deficiencias en la capacidad portante del suelo de fundación o cuando las condiciones geométricas de la sección de la vía no permiten que las zonas de relleno sean realizadas a un ángulo igual o menor al de reposo natural del suelo de relleno.

No necesariamente las condiciones tienen que ser tan críticas como las mencionadas anteriormente, la gran ventaja es que son alternativas más económicas, de hecho bajo las mismas condiciones geotécnicas y constructivas, un muro de suelo reforzado puede originar una reducción de los costos totales de un 30 a un 60%, se compara con las técnicas tradicionales para la construcción de este tipo de obras, debido al hecho de poder utilizar los materiales térreos del sitio. En países que poseen tecnologías de punta, como los Estados Unidos de América solamente en proyectos de autopistas federales, se han construido más de dos mil muros en suelo reforzado con geosintéticos.

La evolución en este campo ha sido tan grande, que hoy en día, gracias a investigaciones realizadas por la FHWA (Federal Highway Administration), se han desarrollado métodos constructivos y de diseño para conformar las pilas de puentes, en suelo reforzado con geosintéticos.

Al incluir un material con resistencia a la tensión dentro de una masa de suelo que debe soportar una serie de empujes, se logra aumentar la resistencia general del conjunto, básicamente por el esfuerzo cortante desarrollado entre el geotextil y las capas de suelo adyacentes.

Los geotextiles y en general los geosintéticos complementan las falencias que presentan los materiales térreos, permitiendo obtener excelentes ventajas técnicas y económicas en la construcción de muros en suelo reforzado, taludes reforzados, terraplenes sobre suelos blandos, sistemas de subdrenaje etc, los suelos al igual que el concreto presentan una buena resistencia a la compresión pero son deficientes cuando se trata de asumir esfuerzos de tracción, por tal motivo cuando los suelos son combinados con elementos que sean capaces de absorber esfuerzos de tracción como son los geotextiles se puede lograr estructuras de suelo reforzadas.

✓ Refuerzos en subrasantes para vías con Geotextil

El refuerzo en subrasantes para vías permite la construcción de pavimentos reforzados aumentando la vida útil ó disminuyendo espesores de estructura de pavimento. Adicionalmente esta aplicación también ofrece una función muy importante, que es separar dos materiales, los materiales seleccionados (subbases y bases granulares) de los suelos finos de subrasante, evitando así la contaminación.



✓ Taludes de terraplenes reforzados con Geotextil

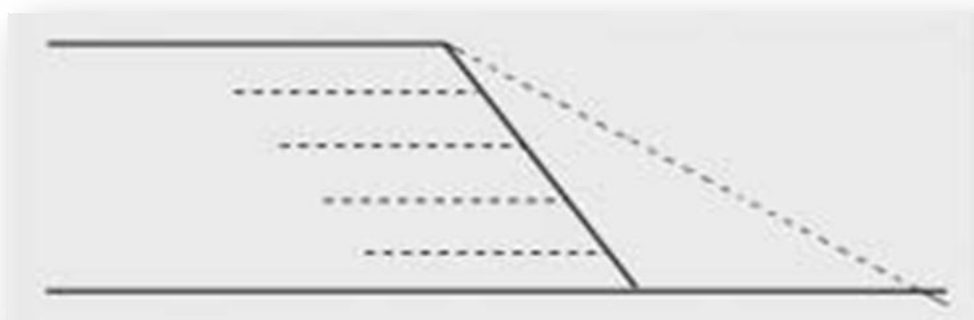
Los taludes son estructuras en suelo reforzado las cuales presentan dos importantes diferencias con respecto a los muros en suelo reforzado: la primera de ellas es la inclinación del relleno con respecto a la horizontal la cual es inferior a los 70° y la segunda diferencia es el modelo de superficie de falla que se asume para efectos de diseño del refuerzo, la cual es de geometría circular según los modelos de falla Coulomb, Bishop Circular, Jambu Circular etc, mientras que el modelo de superficie de falla que se asume cuando se diseñan muros en suelo reforzado es el modelo de cuña de falla Rankine ($45^\circ + \frac{\gamma}{2}$).

✓ Refuerzo de suelos blandos

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos pueden transmitir una presión de contacto de tal forma que se generan unas fuerzas de corte las cuales pueden superar la resistencia al corte del suelo de fundación, obteniéndose como resultado la falla en la base del terraplén. Un adecuado diseño de capas de geotextil tejido de alta resistencia colocados en la base del terraplén suministra refuerzo a la tracción, de tal manera que el factor de seguridad ante la falla por efecto del peso del terraplén aumente hasta un valor confiable.

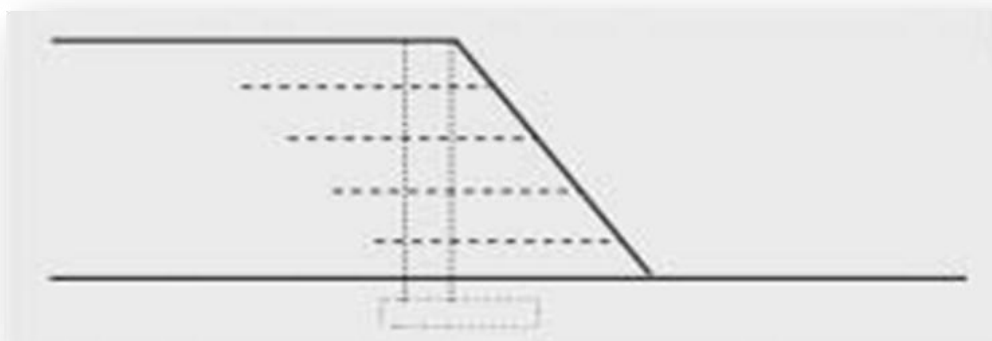
Beneficios de la utilización de geotextiles en la construcción de taludes de terraplenes reforzados. La utilización de geotextiles tejidos en la construcción de los taludes en terraplenes presenta beneficios técnicos y económicos tales como:

a. Reducción del volumen del terreno

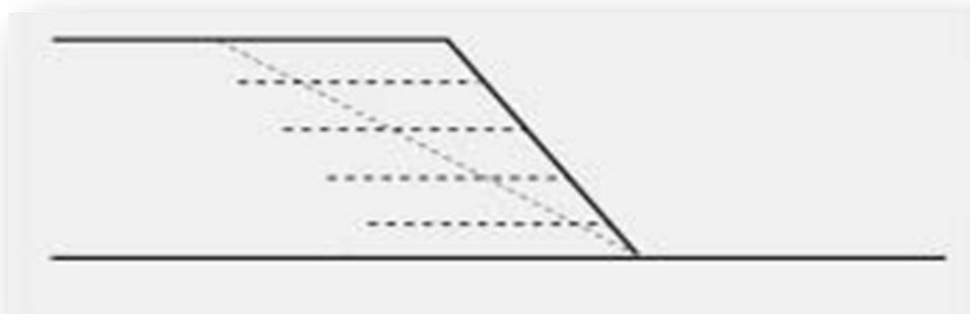




b. Alternativa para evitar la construcción de muros de contención rígidos

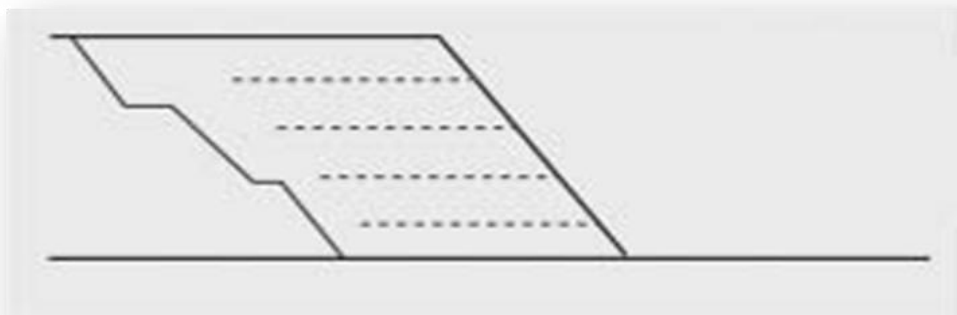


c. Obtención de área plana adicional





d. Reconstrucción de taludes en deslizamientos



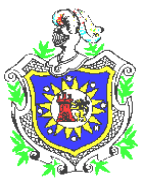
Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos pueden transmitir una presión de contacto de tal forma que se generan unas fuerzas de corte las cuales pueden superar la resistencia al corte del suelo de fundación, obteniéndose como resultado la falla en la base del terraplén. Un adecuado diseño de capas de geotextil tejido de altas resistencias colocadas en la base del terraplén permite desarrollar un refuerzo a la tracción de tal manera que el factor de seguridad ante la falla por efecto del peso del terraplén aumente hasta un valor confiable.

El refuerzo con geotextil puede disminuir los desplazamientos horizontales, verticales y los asentamientos diferenciales, aunque no se debe considerar que presente una disminución de los asentamientos por consolidación primaria ni secundaria. Uno de los mayores campos de aplicación de los geosintéticos son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado en este campo y las experiencias existentes han demostrado los grandes beneficios que aportan los geosintéticos en la construcción de vías y en su rehabilitación, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil.

3.10. Análisis de vías con Geotextil

Cinemática

El suelo de subrasante es un suelo incompresible y el asentamiento que se produce bajo las llantas causa levantamiento del suelo entre y a los lados de las llantas. La forma del Geotextil se convierte en algo similar a una onda y como consecuencia se presenta una tensión del Geotextil. Cuando un material flexible tensionado tiene una forma curva, la presión en la superficie cóncava es mayor que la presión en su cara convexa, lo que se conoce como efecto membrana.



1. Entre las llantas (BB) y en los lados de las llantas (AC), la presión aplicada por el Geotextil sobre la subrasante es mayor a la presión aplicada por la capa granular sobre el geotextil.
2. Bajo las llantas (AB), la presión aplicada por el Geotextil sobre la subrasante es menor que la presión aplicada por las llantas más la capa de material granular sobre el Geotextil.

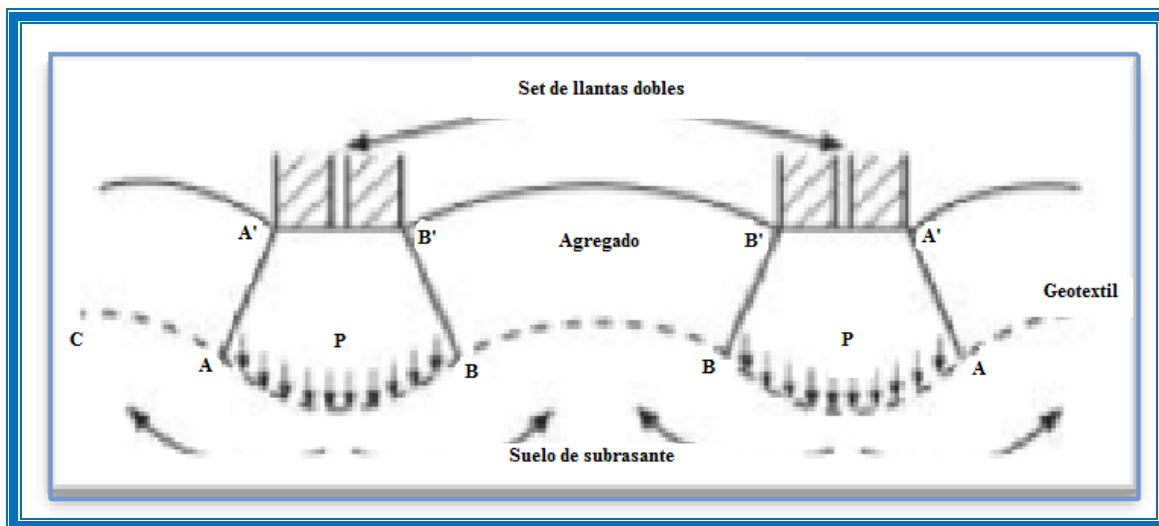


Fig. # 10

Cinemática de vía con Geotextil

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil

El geotextil garantiza entonces dos efectos positivos para el comportamiento de la vía:

1. Provee un confinamiento “horizontal” de la subrasante entre y a los extremos de las llantas.
2. Permite reducir la presión aplicada por las llantas en el suelo de subrasante.

Mecanismos de Falla

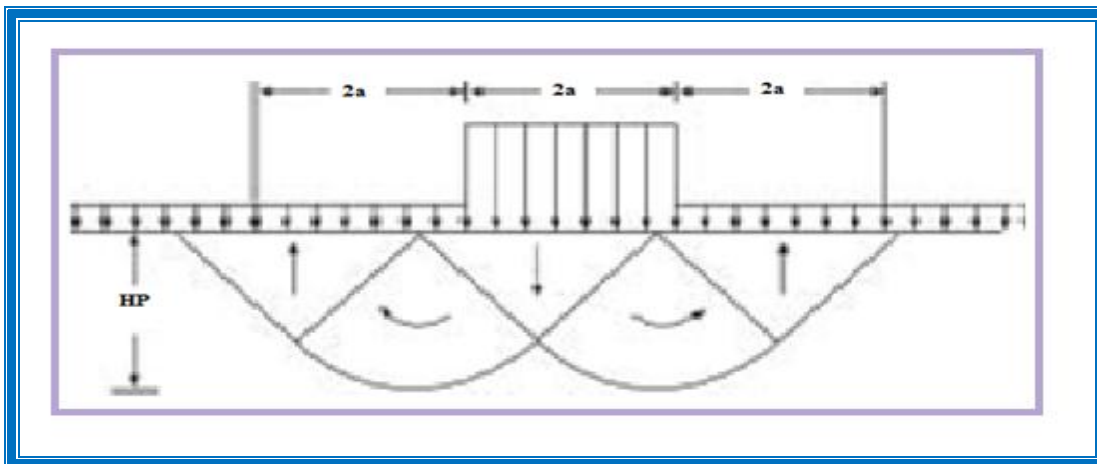
En una vía, la falla de la estructura puede presentarse en tres sitios diferentes:

- ❖ Capa granular
- ❖ Suelo de fundación (subrasante)
- ❖ Geotextil (si existe)

El método analítico no considera falla de la capa granular, suponiendo que el coeficiente de fricción del material es suficiente para asegurar la estabilidad mecánica de la capa y que el ángulo de fricción del Geotextil en contacto con el material granular bajo las llantas es lo suficientemente grande para prevenir el deslizamiento de la capa sobre el Geotextil.



a)



b)

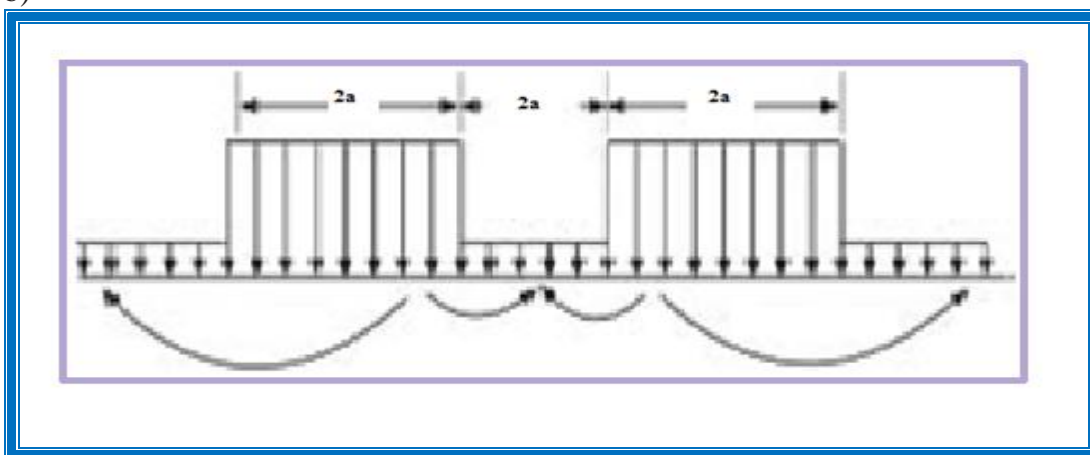


Fig. # 11

*Mecanismo de Fallas**Fuente: Manual de Construcción con Geotextil*

En una estructura vial la falla por deslizamiento del Geotextil (o Pullout) es muy difícil que se pueda presentar, ya que la fuerza de anclaje que se genera entre el suelo y el Geotextil está dada por:

$$F_{\text{anclaje}} = (2N) \times L \quad (2)$$

La longitud L , a lo largo de la cual se desarrolla esta fuerza, es muy grande e influye directamente sobre el valor final de la F anclaje, por lo que está también se hace muy grande, siendo capaz de soportar cualquier movimiento horizontal que se presente por acción de las cargas.

Cuando inicia la transmisión de esfuerzos (N) sobre el geotextil, se presenta una deformación del mismo por efecto del empuje actuante. La zona que se observa en el detalle es por donde fallaría el Geotextil, ya que es el punto crítico cuando dicho Geotextil ofrece su mayor trabajo por resistencia a la tensión.



Por este motivo se debe calcular un F.S. cuando se iguala a la resistencia a tensión del Geotextil con el esfuerzo normal que está siendo aplicado por la estructura con el paso de las cargas, garantizando de esta forma que el geotextil resistirá los esfuerzos y no se deteriora por este efecto. Para obtener una estabilidad global del sistema el FSg. que se debe conservar debe ser mínimo de 1.3. El principio mencionado anteriormente es el fundamento de la presente guía de diseño.

Es importante resaltar que el geotextil de refuerzo permite incrementar las condiciones de soporte de la estructura de pavimento como un todo, sin embargo en la metodología de diseño se debe evaluar el aporte del Geotextil en la capacidad portante del suelo de subrasante para comparar los resultados del diseño de la vía sin geotextil y del diseño con Geotextil.

Propiedades del Geotextil

Las propiedades mecánicas de los geotextiles que mayor aplicación tienen sobre esta metodología son las definidas por el comportamiento de tensión – elongación en un ensayo de tensión biaxial, donde la deformación lateral del Geotextil es restringida. La resistencia permite determinar cuánta carga puede soportar un Geotextil, medida generalmente en términos de fuerza por unidad de longitud y no en unidades de esfuerzo (fuerza por unidad de área), debido a los problemas que se pueden presentar por la variación de espesor durante los ensayos, sobre todo en los geotextiles más delgados.

En cuanto a la resistencia de los geotextiles, existe una gran variedad de ensayos que tienen como objetivo determinar las propiedades de resistencia en función de la dirección, la uniformidad y la duración de la carga aplicada y del área sobre la cual se aplica la carga. Sin embargo, para la aplicación de refuerzo la propiedad que gobierna en el comportamiento del Geotextil es la resistencia a la tensión, definida como una fuerza de tensión por unidad de longitud. Esta propiedad se determina en el laboratorio con el ensayo de resistencia a la tensión por el método de la tira ancha (wide width), y se obtiene la curva Fuerza – Elongación, necesaria para el diseño por refuerzo en aplicaciones viales.

Los fabricantes generalmente utilizan este ensayo como una herramienta de control de calidad, y no se debe utilizar como parámetro de diseño en las aplicaciones de refuerzo. En la norma para la especificación de geotextiles para aplicaciones viales Designación AASHTO M288 –, la resistencia a la tensión Grab es un parámetro que se usa para definir el mínimo valor requerido para la supervivencia de los geotextiles en las diferentes aplicaciones (drenaje, separación, estabilización, refuerzo, control de erosión, barrera contra sedimentos y repavimentación), valor que varía según la clase de Geotextil que se especifique



CAPITULO IV

Exploración y Diseño





4. EXPLORACION Y DISEÑO

4.1 Desarrollo

El desarrollo de los Geosintéticos y de su utilización en los campos de ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción de sus diversas aplicaciones. Son muchas las teorías y las investigaciones que han surgido con esta nueva tecnología, basadas en las necesidades y los requerimientos de los ingenieros diseñadores y constructores, llevando a que los Geosintéticos se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles.

Uno de los mayores campos de la aplicación de los Geotextiles son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo, estabilización de suelos, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado en este campo y las experiencias existentes han demostrado los grandes beneficios que aportan los Geotextiles en la construcción de vías y en su rehabilitación, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil.

4.2 *Uso de Geotextiles como refuerzo en el diseño Camoapa-Comalapa.*

El Geotextil de refuerzo colocado a nivel de subrasante se escoge técnicamente para mejorar la capacidad portante de todo el sistema, sin embargo para evaluar el aporte del Geotextil de refuerzo se puede hacer el análisis cuantitativo de varias formas:

1. Incremento de la capacidad portante del sistema
2. Reducción de los espesores de la capa granular
3. Incremento de la vida útil

Incremento de la capacidad portante del sistema

La utilización de un Geotextil de refuerzo en las vías permite incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía, y la forma más común de introducir ese incremento es dentro de las propiedades mecánicas que presenta la capa de subrasante de la vía en estudio. Para la utilización de la metodología de diseño se supone que el suelo de subrasante tiene las siguientes propiedades:

Suelo saturado, con baja permeabilidad y con un comportamiento no drenado bajo cargas tales como el tráfico, lo que significa que el suelo de subrasante es incompresible y tiene un ángulo de fricción casi nulo. La capacidad portante se puede determinar con el CBR de la subrasante, medido para las condiciones más críticas de densidad y de humedad.



Reducción de espesores de la capa granular

Otra forma de evaluar los efectos de la utilización de un Geotextil de refuerzo sobre la subrasante es mediante la reducción del espesor de la capa granular que conforma la estructura del sistema. Esta capa se diseña con el fin de distribuir los esfuerzos generados por la aplicación de cargas en la superficie del pavimento en un área mayor, de tal forma que a nivel de subrasante los esfuerzos no sobrepasen la resistencia a tensión admisible del Geotextil para garantizar la estabilidad general de la estructura. La utilización de un Geotextil de refuerzo en la subrasante permite incrementar la capacidad portante de todo el sistema y esto se puede representar con la reducción en el espesor de la capa granular de la estructura de pavimento.

Incremento de la vida útil

El incremento de la vida útil de diseño es otro parámetro que se puede evaluar con la utilización de un Geotextil de refuerzo. En el diseño inicial, se supone una vida útil y se trabaja con un tránsito estimado correspondiente al número de años de diseño. El tránsito se lleva a un número de ejes equivalentes, con lo que se calculan los esfuerzos y las deformaciones admisibles para definir la estructura de pavimento. Al incrementar la capacidad portante del sistema con la utilización del Geotextil se aumentan los valores admisibles de esfuerzos y deformaciones, lo que se puede interpretar como un incremento del número de ejes equivalentes, es decir de la vida útil de la vía.

Los geotextiles utilizados para el refuerzo de vías permiten mejorar el funcionamiento de la estructura de pavimento, teniendo como base un espesor inicial de capa granular sin Geotextil para una condición de carga (tráfico) dada, comparado con un espesor disminuido por utilización del Geotextil, para la misma condición de tráfico. (El análisis también se puede hacer para un espesor de material granular establecido y un incremento del tráfico que va a pasar sobre la vía). *La metodología que se presenta en este documento permite calcular la reducción del espesor de la capa granular y hacer la selección del Geotextil adecuada para el refuerzo de la estructura.* Esta metodología se basa en el comportamiento del Geotextil dentro de la estructura de pavimento, actuando como un elemento capaz de absorber los esfuerzos a tensión presentados por acción de las cargas a nivel de subrasante, mejorando el comportamiento estructural de la vía.

4.3 Procedimiento sin Geotextiles

1. Estime el tráfico futuro para el periodo diseñado. (ESAL)
2. Seleccione la confiabilidad
3. Evalúe la desviación estándar. Los valores determinados en la prueba de caminos de la AASHTO fueron entre 0.40 y 0.50.
4. Determine el modulo de resiliencia de la cama del camino.
5. Determine el nivel de servicio de diseño perdido.
6. Seleccione los coeficientes de capas.
7. Capa de concreto asfáltico
8. Capa de base granular
9. Capa de sub.-base granular.
10. Coeficiente de drenaje.
11. Selección de espesores de capas.



12. Tomando en cuenta el uso de Geotextiles luego de concluir con el diseño anterior se empieza una serie de tanteos hasta lograr determinar el tipo de Geotextiles conveniente para usarse en el suelo a trabajar.

4.4 Procedimiento con Geotextiles

Para el diseño de carreteras con Geotextiles se debe de seguir un sinnúmero de pasos, sin embargo estos se logran al finalizar el diseño sin Geotextiles, a continuación se menciona el proceso.

Paso 1. Diseño Inicial de la estructura de pavimento

Para hacer la comparación de los diseños sin y con geotextil de refuerzo, se debe conocer el diseño inicial de la estructura de pavimento sin geotextil. La estructura puede ser diseñada por la metodología que estime conveniente. Sin embargo, para obtener la reducción por utilización del Geotextil se requiere conocer los parámetros necesarios para realizar la modelación en un programa de diseño racional, para obtener los S_n transmitidos a la subrasante. Dichos parámetros son:

1. Tráfico de diseño, eje de carga de referencia y periodo de diseño.
2. Espesor de las capas, características de los materiales (módulo elástico) y relación de Poisson de cada uno de los materiales que conforman las capas de la estructura.
3. CBR o C_u , módulo resiliente del suelo de subrasante

En este caso, se supone que para el diseño de la estructura de pavimento sin geotextil se han definido las condiciones de la vía, se ha calculado el tráfico de diseño de acuerdo a las condiciones reales del proyecto, se han definido las propiedades de los materiales que conforman la estructura de acuerdo con las especificaciones de construcción vigentes y se han realizado todos los ensayos necesarios para caracterizar el suelo de subrasante.

Con los datos anteriormente mencionados se hace la modelación de la estructura sin Geotextil en el programa de diseño racional y se calculan los esfuerzos y las deformaciones de las diferentes capas:

1. Capas bituminosas: Para las capas de materiales bituminosos tales como concretos asfálticos, grava asfáltica, etc. se verifica la deformación a tracción en la fibra inferior de la capa.
2. Capas hidráulicas y capas tratadas con materiales hidráulicos: Para las capas de concreto hidráulico, concreto pobre (relleno fluido) y los materiales tratados con cemento, cal, ceniza, escoria, etc. se verifica el esfuerzo a tracción en la fibra inferior de la capa.



3. Suelos finos y suelos granulares: Para las capas de subrasante y las capas granulares se analiza la deformación vertical sobre la capa de subrasante. También se puede verificar la deformación por tracción sobre la capa de subrasante.

Paso 2. Planteamiento reducción granulares y análisis de la alternativa

Con base la estructura inicial se plantea una primera alternativa de estructura con reducción de espesor en los materiales granulares conservando las características tanto de los materiales que conforman la estructura como del suelo de subrasante manteniendo los cálculos para el mismo número de ejes equivalentes de diseño.

Paso 3. Esfuerzo normal aplicado

El esfuerzo normal calculado por el programa (σ_n , kg/cm²), se reparte en un área plana, para ser comparado con la resistencia que ofrece el Geotextil, punto crítico de falla de Geotextil.

Paso 4. Selección del geotextil

Se define el Geotextil que se va a utilizar para el refuerzo de la estructura de pavimento y se calcula el valor de la resistencia admisible. Para la selección del geotextil es importante tener en cuenta las propiedades del suelo de subrasante y del material que se va a colocar sobre el Geotextil, además de las condiciones de construcción y de instalación. Una guía para seleccionar el Geotextil más apropiado consiste en verificar los requerimientos exigidos para la función de estabilización, en la especificación de construcción AASHTO M288 vigente.

Resistencia disponible (KN/m): Resistencia última(KN/m) / ($FS_{ID} \times FS_{CD} \times FS_{BD}$) (3)

donde:

Resistencia última (KN/m): Valor de laboratorio obtenido por el método de la tira ancha.

FS_{ID} = Factor de seguridad por daños en la instalación.

FS_{CD} = Factor de seguridad por degradación química.

FS_{BD} = Factor de seguridad por degradación biológica.

Paso 5. Calculo del Factor de Seguridad Global

Se determina el factor de seguridad, el cual debe ser mayor a 1.3, garantizando que el Geotextil será capaz de absorber los esfuerzos de tensión presentados sin llegar a la rotura evitando que estos sean transmitidos a la subrasante.

FS_g = Resistencia disponible / Resistencia requerida (4)

$FS_g \geq 1.3$

Paso 6. Optimización del diseño con geotextil

Si el factor de seguridad encontrado es alto, se realizan iteraciones del procedimiento descrito a partir del paso No. 2 de esta metodología, hasta encontrar que el valor hallado se acerca a 1.3 para lograr la optimización del uso del geotextil en estructuras de pavimento.



Paso 7. Calculo de la disminución de espesor con geotextil de refuerzo

Realizamos la cuantificación en la reducción del espesor de material granular.

$$\Delta h = h_o - h$$

donde:

h_o: Espesor del material granular sin geotextil (m)

h: Espesor del material granular con geotextil (m)

Tipos de Geotextiles.

	Separación	Filtración	Drenaje en Plano	Refuerzo	Geotextil Sugerido
Vías	X	X	X	X	NT 1600, NT 1800, NT 2100, NT 2500, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 1050, T 1400, T 1700, T 2400, TR 4000
Repavimentación	X				REPAV 400, REPAV 450
Ferrovías	X	X	X	X	NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 2100, T 2400, TR 4000
Subdrenes	X	X	X		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000
Muros de Contención				X	T 1400, T 1700, T 2100, T 2400, TR 4000
Terraplenes	X			X	NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000, T 1700, T 2100, T 2400, TR 4000
Gaviones	X	X			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000
Muelles y Puentes	X	X			NT 1800, NT 2000, NT 3000, NT 4000, NT 5000
Presas, Diques y Canales	X	X			NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Túneles		X	X		NT 2000, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Rellenos Sanitarios	X		X		NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000, NT 4000, NT 5000, NT 6000, NT 7000
Filtro para Bolsacretos	X	X			NT 1600, NT 1800, NT 2000, NT 3000

Tabla #9

Tipos de Geotextiles a usar en sus diferentes campos

Fuente: Manual de Construcción con Geotextil



CAPITULO V

Estudio Comparativo





5. Estudio Comparativos

En todo diseño de carretera es necesario tomar en cuenta el tránsito que se tendrá, para lograr cálculos más exactos se hizo el aforo para obtener los datos más actuales. El día 17 de Septiembre del 2007 se realizó el conteo in situ, obteniendo los siguientes datos:

5.1 Aforo de Tránsito

Hora	Vehículos mixtos
9:00am – 9:15am	75
9:15am – 9:30am	78
9:30am – 9:45am	83
9:45am – 10:00am	86
10:00am – 10:15am	68
10:15am – 10:30am	85
10:30am – 10:45am	68
10:45am – 11:00am	76
11:00am – 11:15am	77
11:15am – 11:30am	62
11:30am – 11:45am	56
11:45am – 12:00am	59
2:00pm – 2:15pm	71
2:15pm – 2:30pm	78
2:30pm – 2:45pm	65
2:45pm – 3:00pm	60
3:00pm – 3:15pm	82
3:15pm – 3:30pm	76
3:30pm – 3:45pm	73
3:45pm – 4:00pm	69
4:00pm – 4:15pm	68
4:15pm – 4:30pm	70
4:30pm – 4:45pm	63
4:45pm – 5:00pm	57

Tabla. #10

Aforo de Tránsito

Fuente: Realizado por Bolaños, Ortega, Polanco.



Se procede a calcular cual es la hora de máxima demanda, luego de hacer el tanteo hora por hora se llega a la conclusión que la hora más concurrida es de: 9:00am a 10:00am.

5.2 Nivel de Servicio

Para poder determinar cuál será el nivel de servicio de esta carretera en 15 años se procede a calcular:

VHMD= Es la hora de máxima demanda

$75 + 78 + 83 + 86 = 322$ Cantidad de vehículos que cruzan el tramo entre las 9am y las 10am.

Por lo tanto; **VHMD = 322** Vehículos mixtos por hora

FHMD= Factor horario de máxima demanda

FHMD = VHMD/4(flujo máximo) = $322 / 4(86) = 0.94$ donde 86 es el número mayor de flujo vehicular en el lapso de 15min.

Calculo del nivel de servicio de la vía y su capacidad con las siguientes condiciones dadas según el lugar y bajo condiciones de carreteras de la zona

:

Velocidad de proyecto: 40 Km/h

Distribución direccional: 60/40

Ancho de carril: 3m

Long. Restringida: 60%

Tipo de terreno: plano

VHMD = 322

Vehículos livianos 212 veh/h = 66%

Buses 35 veh/h = 11%

Camiones 75 veh/h = 23%

Como los datos obtenidos se procede a buscar la relación v/c en las tablas ya existentes para determinar el nivel de servicio.

1.Relación (v/c)

N.S.	A	B	C	D	E
(V/C)	0.07	0.19	0.34	0.59	1.00

Tabla. #12

Nivel de Servicio (v/c) para carreteras de dos carriles.

Terreno Plano/ 60% restricción

Fuente: TBR, highway capacity manual, 1994.



Lo cual se obtuvo de la siguiente tabla.

Nivel de servicio (v/c) para carreteras de dos carriles.

Nivel De Servicio (NS)	Terreno Plano						Terreno Ondulado						Terreno Montañoso					
	Restricción de paso %						Restricción de paso %						Restricción de paso %					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
A	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.15	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.14	0.09	0.07	0.04	0.02	0.01
B	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.26	0.23	0.19	0.17	0.15	0.13	0.25	0.20	0.16	0.13	0.12	0.10
C	0.43	0.39	0.36	0.34	0.33	0.32	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.39	0.33	0.28	0.23	0.20	0.16
D	0.64	0.62	0.60	0.59	0.58	0.57	0.62	0.57	0.52	0.48	0.46	0.43	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.33
E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.94	0.92	0.91	0.90	0.90	0.91	0.87	0.84	0.82	0.80	0.78

Tabla. #11

Nivel de Servicio (v/c) para carreteras de dos carriles.

Fuente: TBR, highway capacity manual, 1994.

Factores de ajuste por distribución direccional del tránsito en carreteras de dos carriles. En los proyectos anteriores del sitio se ha trabajado con una separación direccional de 60/40 y las carreteras que limitan el tramo Camoapa-Comalapa también han trabajado con el mismo factor lo cual tuvo influencia para dicha selección.

Separación direccional %	factor
50/50	1.00
60/40	0.94
70/30	0.89
80/20	0.83
90/10	0.75
100/0	0.71

Tabla. #13

Factores de ajuste por distribución direccional del tránsito en carreteras de dos carriles.

Fuente: TBR, highway capacity manual, 1994.



2. Factor de distribución direccional (fd)

$$60/40 = 0.94 = fd$$

Hombro (m)	Carril 3.65m		Carril 3.35m		Carril 3.05m		Carril 2.75m	
	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E	NS A-D	NS E
1.8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.83	0.87	0.70	0.76
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Tabla. #14

Factores de ajuste por efecto combinado de carriles angostos y hombros restringidos, carreteras de dos carriles.

Fuente: TBR, highway capacity manual, 1994.

3. Factor por ancho de carril y hombros (fw) .

$$fw_{A-D} = 0.58$$

$$fw_E = 0.75$$

4. Factor de vehículos pesados (fhv)

$$fhv = 1 / [1 + PT (ET - 1) + PB (EB - 1) + PR (ER - 1)]$$

$$PT = 0.23 \quad \% \text{camiones}$$

$$PB = 0.11 \quad \% \text{buses}$$

$$PR = 0$$

$$ET_A = 2$$

$$ET_{B-C} = 2.2$$

$$ET_{D-E} = 2$$

$$EB_A = 1.8$$

$$EB_{B-C} = 2$$

$$EB_{D-E} = 1.6$$

$$Fhv_a = 0.76$$

$$Fhv_{b-c} = 0.72$$

$$Fhv_{d-e} = 0.77$$



5. Nivel de Servicio (SF)

$$SF = 2800 (v/c) (fd) (fw) (fhv)$$

$$SF_A = 2800 (0.07) (0.94) (0.58) (0.76) = 81 \text{ veh/h}$$

$$SF_B = 2800 (0.19) (0.94) (0.58) (0.72) = 209 \text{ veh/h}$$

$$SF_C = 2800 (0.34) (0.94) (0.58) (0.72) = 374 \text{ veh/h}$$

$$SF_D = 2800 (0.59) (0.94) (0.58) (0.77) = 694 \text{ veh/h}$$

$$SF_E = 2800 (1) (0.94) (0.75) (0.77) = 1520 \text{ veh/h}$$

6. Flujo de máxima demanda actual

$$f_{s\text{actual}} = VHMD / FHMD = 322 / 0.94 = 343 \text{ veh/h}$$

$$FS < f_{s\text{actual}} < FS$$

$$322 < 343 < 374 \quad \text{La carretera está operando en el nivel de servicio C.}$$

Proyectando el nivel de servicio a 15 años que será su vida útil.

$$P_i = P_o (1 + i)^n$$

$$P_{15} = 322 (1 + 0.03)^{15} = 502 \text{ veh/h}$$

Por lo tanto para en 15 años está funcionando en un nivel de **servicio D.**

Investigación de campo

Estudio de Suelos

Para determinar los espesores de la carretera Camoapa-Comalapa se hizo la inspección en el sitio, luego se procedió a realizar los sondeos manuales. Debido a la extensión del tramo los sondeos se realizaron cada 1km totalizando 13 sondeos en los 12km. Se realizaron con un diámetro de aproximadamente 30cm y las profundidades variaron debido a los diferentes tipos de suelo en el mismo estacionamiento. Después de un largo proceso de extracción de muestras se procedió a enviarlas al laboratorio donde fueron analizadas. El reporte de clasificación es el siguiente:



5.3 Resultados de los Estudios de Suelos.

Nicaragua, Camoapa-Comalapa.

Suelos Existentes, Resumen de Resultados de Prueba de Laboratorio

07.10.07.Pag1of2

Fecha: Octubre 2007												
Estación (Km+m)	Profundidad de a		Descripción	% que pasa por tamiz					Limites de Atterberg			Humedad
				#200	#40	#10	3/8"	1"	LL	PL	IP	
0+000	0.00	0.34	Grava, fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café	10	14	22	40	63	44	23	21	18
	0.34	0.80	Grava, Media a gruesa, arenosa, café	8	12	18	34	64	40	24	16	27
1+000	0.00	0.08	Grava, Fina a gruesa, arenosa, arcillosa, café	16	27	39	60	75	41	29	12	16
	0.08	0.80	Grava, Fina a gruesa, arenosa	9	17	30	52	75	53	38	15	27
2+000	0.00	0.20	Grava, Fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café	15	22	35	60	82	49	31	18	20
	0.20	0.35	Grava, Fina arenosa, arcillosa, marrón	17	34	54	80	96	39	27	12	16
	0.35	1.00	Arcilla, arenosa, gravosa, café clara	42	64	78	91	100	42	29	13	17
3+000	0.00	1.00	Grava, media a gruesa, arenosa, poco arcillosa,	12	18	28	53	86	49	34	15	24
4+000	0.00	0.20	Grava, fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café	10	16	25	43	66	37	22	15	21
	0.20	0.40	Grava, fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, marrón	13	18	29	53	79	40	26	14	26
	0.40	1.40	Arcilla, negra	93	95	98	100		91	25	66	36
5+000	0.00	0.11	Grava, Fina a gruesa, café clara	6	9	14	34	59	43	26	17	23
	0.11	0.36	Grava, Fina a media, arenosa, poco arcillosa, gris	14	21	32	58	84	46	28	18	23
	0.36	1.05	Arcilla, arenosa, gravosa, café	61	72	80	93	96	48	27	21	29
6+000	0.00	0.12	Grava, Fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café clara	10	16	25	49	70	52	30	22	19
	0.12	0.33	Grava, Fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, gris	15	25	35	66	79	47	29	18	20
	0.33	1.00	Arcilla, arenosa, gravosa	37	53	70	92	99	53	35	18	31
Sondeos: Manuales												

Tabla. #15

Realizado por: Bolaños, Ortega, Polanco bajo la supervisión de: Leonel Zeledón

Fuente: Ingeniería de Materiales y Suelos.



Estudios de Suelos

Nicaragua, Camoapa-Comalapa

Sondeos Manuales												
Estación (Km+m)	Profundidad de a		Descripción	% que pasa por tamiz					Limites de Atterberg			Humedad
				#200	#40	#10	3/8”	1”	LL	PL	IP	
7+000	0.00	0.10	Grava, media a gruesa, café clara	5	8	13	27	50	45	32	13	15
	0.10	0.24	Grava, Media a gruesa, arenosa, poco arcillosa, gris	12	18	26	42	64	35	20	15	17
	0.24	0.53	Arcilla, arenosa, gravosa, café oscura	39	48	63	82	89	50	34	16	37
8+000	0.0	0.11	Grava, Media a gruesa, arenosa, arcillosa café	17	28	44	72	96	41	22	19	18
	0.11	0.29	Grava, Fina a gruesa, arenosa, arcillosa, gris clara	16	25	37	56	74	34	19	15	16
	0.29	1.05	Grava, Fina, arenosa, muy arcillosa, gris oscura	31	40	60	93	98	47	33	14	35
9+000	0.0	0.10	Grava, fina a media, arenosa, muy arcillosa, café clara.	28	38	50	73	93	41	28	13	19
	0.10	0.30	Grava, fina a gruesa, arenosa, limosa, gris.	16	27	42	61	71	42	32	10	17
	0.30	1.00	Arcilla, arenosa, gravosa, café.	40	49	60	79	94	43	27	16	20
10+000	0.0	0.16	Grava, fina a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café clara.	13	20	30	54	77	35	19	16	4.9
	0.16	0.45	Grava, fina a gruesa, arenosa, arcillosa, café.	17	28	43	63	81	36	22	14	15
	0.45	1.00	Arcilla, arenosa, gravosa, café.	62	76	88	97	98	43	22	21	19
11+000	0.0	0.11	Grava, fina a media, arenosa, limosa, café clara.	17	27	43	72	93	38	28	10	16
	0.11	0.32	Grava, media a gruesa, arenosa, poco arcillosa, café.	13	21	37	68	90	44	25	19	16
12+000	0.0	0.16	Grava, fina a media, arenosa, poco arcillosa, café clara.	15	23	38	67	89	42	24	18	15
	0.16	0.35	Grava, fina a gruesa, arenosa, arcillosa, café oscura.	17	25	38	63	83	46	28	18	17
	0.35	1.00	Arcilla, arenosa, gravosa, café oscura.	39	55	78	98	100	42	27	15	19

Tabla. #15

Realizado por: Bolaños, Ortega, Polanco bajo la supervisión de: Leonel Zeledón

Fuente: Ingeniería de Materiales y Suelos.



INGENIERIA DE MATERIALES Y SUELOS
Estudios Geotécnicos para Construcciones Verticales y Horizontales,
Análisis y Control de Calidad de Materiales de Construcción

INFORME DE PRUEBAS

Proyecto: Uso de Geotextiles en Carretera Camoapa-Comalapa

Efectuado por: Iris Bolaños, Karen Ortega, Vilma Polanco

Calculo: D-5 Cotejo: D-5

Fuente de Material: Banco propiedad José Matute.

ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ DE

Tamiz	3/4	3/8	4	10	40	200
%que pasa	98	94	73	54	22	10

en PSI	Subrasante	Sub-base	Base
Modulo Resilencia	3000	15000	40000

Tipo de Prueba:	Proctor Modificado
Peso Volumétrico Máximo:	2069 kg/m ³
Humedad Optima:	9.0%

Presión de Inflado:	500Kpa
Diámetro máximo en partículas:	2pulg
CBR :	Subrasante 2, Sub-base 6, Base 26.67
Hinchamiento %:	0.2
Tiempo de Saturación:	96 hrs.
Modulo de Elasticidad:	400000psi

Observaciones:

Tabla. #16

Realizado por: Bolaños, Ortega, Polanco bajo la supervisión de: Leonel Zeledón

Fuente: Ingeniería de Materiales y Suelos



Las pruebas obtenidas en el campo fueron llevadas y analizadas en Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde se realizaron las pruebas de granulometría, límites de consistencia, clasificación y las pruebas de CBR para determinar los datos necesarios con el fin de diseñar por medio de Geotextil y sin él.

ENSAYOS EFECTUADOS

- Granulometría Designación ASTM D-422
- Límites de Atterberg Designación ASTM D-423, D-424
- Clasificación H.R.B. Designación ASTM D-3282

5.4 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Tabla 3

SONDEO 1

Muestras	Muestra 1	Muestra 2
IP	21	16
A	0	0
B	0	0
C	4	0
D	11	6
IG	0	0
IS	20	20
Tipo	A-2-7	A-2-6
Calidad	Excelente	Excelente

SONDEO 2

Muestras	Muestra 1	Muestra 2
IP	12	15
A	0	0
B	1	0
C	1	13
D	2	5
IG	0	0
IS	20	20
Tipo	A-2-7	A-2-7
Calidad	Excelente	Excelente



SONDEO 3

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	18	12	13
A	0	0	7
B	0	2	27
C	9	19	2
D	8	2	3
IG	0	0	2
IS	20	20	15
Tipo	A-2-7	A-2-6	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

SONDEO 4

Muestras	Muestra 1
IP	15
A	0
B	0
C	9
D	5
IG	0
IS	20
Tipo	A-2-7
Calidad	Excelente

SONDEO 5

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	15	14	66
A	0	0	40
B	0	0	40
C	0	0	20
D	5	4	20
IG	0	0	20
IS	20	20	2
Tipo	A-2-6	A-2-6	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre



SONDEO 6

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	17	18	21
A	0	0	26
B	0	0	40
C	3	6	8
D	7	8	11
IG	0	0	11
IS	20	20	5
Tipo	A-2-7	A-2-7	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

SONDEO 7

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	22	18	18
A	0	0	2
B	0	0	22
C	12	7	13
D	12	8	8
IG	0	0	2
IS	20	20	15
Tipo	A-2-7	A-2-7	A-7-5
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

SONDEO 8

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	13	15	16
A	0	0	4
B	0	0	24
C	5	0	10
D	3	5	6
IG	0	0	2
IS	20	20	15
Tipo	A-2-7	A-2-6	A-7-5
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre



SONDEO 9

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	19	15	14
A	0	0	0
B	2	1	16
C	1	0	7
D	9	5	4
IG	0	0	1
IS	20	20	18
Tipo	A-2-7	A-2-6	A-2-7
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

SONDEO 10

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	13	10	16
A	0	0	5
B	13	1	25
C	1	2	3
D	3	0	6
IG	0	0	3
IS	20	20	13
Tipo	A-2-7	A-2-7	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

SONDEO 11

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	16	14	21
A	0	0	27
B	0	2	40
C	0	0	3
D	6	4	11
IG	0	0	10
IS	20	20	6
Tipo	A-2-6	A-2-6	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre



SONDEO 12

Muestras	Muestra 1	Muestra 2
IP	10	19
A	0	0
B	2	0
C	0	4
D	0	9
IG	0	0
IS	20	20
Tipo	A-2-4	A-2-7
Calidad	Excelente	Excelente

SONDEO 13

Muestras	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
IP	18	18	15
A	0	0	4
B	0	2	24
C	2	6	2
D	8	8	5
IG	0	0	2
IS	20	20	15
Tipo	A-2-7	A-2-7	A-7-6
Calidad	Excelente	Excelente	Pobre

Los CBR obtenidos en el laboratorio fueron de 2 para lo que es la subrasante, de las muestras que se tomaron en el sitio; 10 para la subbase y de 26.6 para la base análisis del banco de materiales y otros.

Se nota que el terreno de la Subrasante es bastante bueno ya que de los 13 sondeos la mayoría tiene un tipo de Suelo A-2-7 que es Grava de fina a media, esto hace que su CBR sea bueno sin embargo se trabajara con el extremo negativo para adaptar mejor el Geotextiles a la situación, en tales casos el tipo de suelo de menor calidad encontrado en el tramo es A-7-6 o arcilla arenosa.

Ya con la clasificación de suelos y con los valores del Conteo Volumétrico de la carretera (Tabla 10) se procede a calcular el ESAL de diseño.



5.5 ESAL de diseño

Tipo	Peso por eje(lb)	TDA	Factor de crecimiento	Transito de diseño	Factor ESAL	ESAL de diseño
Automóvil	2000	725	5875.37	4259643.25	0.0002	852
	2000				0.0002	852
Jeep	6000	14	5875.37	82255.18	0.009	740
	6000				0.009	740
Camioneta	4000	387	5875.37	2273768.19	0.002	4548
	6000				0.009	20464
Microbús	6000	156	5875.37	916557.72	0.009	8249
	8000				0.031	28413
Bus	10000	32	5875.37	188011.84	0.079	14853
	20000				1.57	295179
C2	12000	21	5875.37	123382.77	0.174	21469
	22000				2.35	289950
C3	14000	259	5875.37	1521720.83	0.338	514342
	30000				0.627	954119
T ₂ S ₂	14000	18	5875.37	105756.66	0.338	35746
	16000				0.603	63771
	32000				0.829	87672
T ₃ S ₃	14000	93	5875.37	546409.41	0.338	184686
	32000				0.829	452973
	34000				0.225	122942
						3,102,560

Tabla. #17

Esal de Diseño

Fuente: Realizado por Bolaños, Ortega, Polanco.

Donde:

TDA: es la cantidad de vehículos clasificados en el tramo de carretera

Fc: Es el factor de crecimiento calculado por la siguiente fórmula:

$$F_c = 365 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

A la incógnita i se le dio un valor de 1.05 ya que la tasa de crecimiento en los últimos 10 años fue: 98-2001 del 1.09% y 2001 - 2007 del 1.003% al promediarlos es 1.05% y el valor n es la proyección en años.

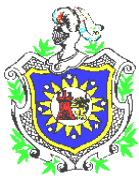
$$F_c = 365 \left[\frac{(1+0.01)^{15} - 1}{0.01} \right] = 5875.37$$

TD: transito de diseño es el producto del tránsito diario actual por el factor de crecimiento.

Factor ESAL: factor equivalente según numero estructural y carga axial, ver anexos.

De esta manera encontramos el ESAL de diseño que será de **3,102,560**.

*El conteo de transito fue hecho en día Lunes, día que según la Alcaldía de Cuapa es el más transitado por los habitantes y trabajadores de las zonas.



5.6 Cálculo del diseño de Carretera sin Geotextil.

Numero ESALS: 3,102,560. $\approx 3 * 10^6$

*Desviación Stándar = 0.45

*Confiabilidad = 75%

Modulo de resiliencia:

Subrasante	3000psi
Sub-base	15000psi
Base	40000psi

*Numero de Ejes Equivalentes = 18000lb

Modulo elástico Young = 400000psi.

*Servicialidad $\Delta\text{Psi} = P_o - P_t = 4.2 - 2 = 2.2$

*Valores obtenidos de la guía AASHTO – Interim Guide por desing of pavement structures Pág. 7. Y del Catalogo para el Método Murillo López de Souza Pág. 48.

Referencias y Tablas ver Cap. 2, sección 2.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Numero estructural a trabajar: 5.2

$SN_1 = 1.7$	$SN_2 = 2.7$	$SN_3 = 5.3$
$a_1 = 0.43$	$a_2 = 0.14$	$a_3 = 0.11$
$m_2 = 1$	$m_3 = 1$	

$$D_1 = SN_1/a_1 = 1.7/0.43 = 3.95'' \quad \mathbf{D^* = 4''}$$

$$SN_1^* = \begin{aligned} &D_1 * a_1 \geq SN_1 \\ &4 * 0.43 \geq 1.7 \\ &1.72 \geq 1.7 \quad \checkmark \text{ ok} \end{aligned}$$

$$D_2 = SN_2 - SN_1^* / a_2m_2 = 2.7 - 1.72 / 0.14 * 1 = 7'' \quad \mathbf{D^* = 7 \frac{1}{4} '' = 7.25''}$$

$$SN_2^* = \begin{aligned} &D_2 * a_2m_2 + SN_1^* \\ &7.25 * 0.14 * 1 + 1.72 \\ &2.74 \geq 2.7 \quad \checkmark \text{ ok} \end{aligned}$$

$$D_3 = SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)/a_3m_3 = 5.3 - (1.72 + 2.74)/0.11 * 1 = 7.6'' \quad \mathbf{D^* = 7 \frac{3}{4} '' = 7.75''}$$

$$SN_3^* = \begin{aligned} &D_3 * a_3m_3 + (SN_1^* + SN_2^*) \\ &7.75 * 0.11 * 1 + (1.72 + 2.74) \\ &5.31 \geq 5.3 \quad \checkmark \text{ ok} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SN &= a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3 \\ &= (0.43 * 4) + (0.14 * 7.25 * 1) + (0.11 * 7.75 * 1) \\ &= 4 \text{ El número estructural real.} \end{aligned}$$



$$4'' = 10\text{cm}$$

$$7 \frac{1}{4}'' = 18\text{cm}$$

$$7 \frac{3}{4}'' = 20\text{cm}$$

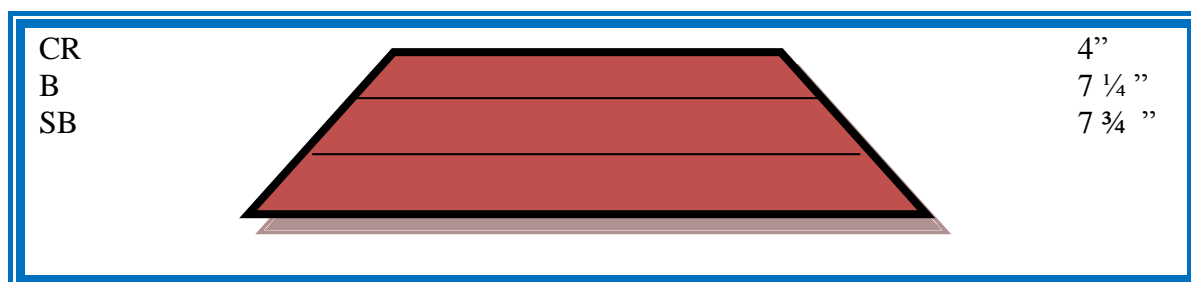


Figura. #11

Fuente: Resultados de Diseño de Carretera sin Geotextil

5.7 Cálculo del diseño de Carretera con Geotextil.

Para el diseño de Carretera con Geotextiles se requiere el conocimiento de los siguientes términos:

T_{adm} = resistencia admisible para emplear en el diseño.

T_{ult} = resistencia ultima del Geotextil obtenida en el laboratorio

FR_{ID} = factor de reducción por daños de instalación, en este caso 1.5

FR_{DQB} = factor de reducción por degradación química y biológica. En este caso 1.2

FS_g = factor de seguridad global, el cual deberá ser mayor o igual a 1.3

E = modulo de la capa

ν = relación de Poisson

h_o = espesor de capa granular sin Geotextil

h = espesor de capa granular con Geotextiles

Δh = reducción del espesor de la capa granular como resultado del uso de Geotextiles.

σ = esfuerzo a tracción en kg/cm^2

Una vez obtenido el diseño de la carretera sin Geotextiles se procede a realizar el cálculo con el material para determinar si este nos deja alguna ventaja.

Capa	Espesor	Modulo	Relación Poisson
Carpeta Asfáltica	0.10m	$E= 35,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Base Granular	0.18m	$E=6,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Subbase Granular	0.20m	$E= 2,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Subrasante	CBR = 2%	$E= 200 \text{ kg/cm}^2$	0.45

Tabla. #18

Datos de diseño de Carretera sin Geotextil para introducir al programa

Fuente: Especificaciones INVIAS pág. 632, basadas en la AASHTO.

*Modulo de cada capa y Relación de Poisson,



Con estos datos en mano se procede al programa CEDEM de uso exclusivo de AMANCO-NIC.

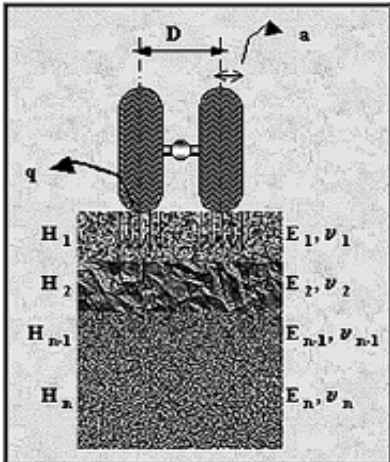
CEDEM - Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructura Multicapa

Archivo Datos Calcular Ayuda

Datos Información de la Estructura Resultados

Número Total de Capas : 4

Nombre del Diseño: Ejemplo - Refuerzo en vías con geotextil



Definiciones :

D : distancia de separación entre ejes de llantas

q : presión de contacto ejercida por las ruedas

a : radio de la carga

Hi : espesor de la capa i

Ei : módulo dinámico de la capa i

Ui : relación de Poisson de la capa i

CEDEM - Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructura Multicapa

Archivo Datos Calcular Ayuda

Datos Información de la Estructura Resultados

Número de Capas : 4

Radio de la Carga (a) : 0.108 [m]

Presión de Contacto (q) : 0.56 [MPa]

Distancia entre Ejes de Llantas (D) : 0.303 [m]

Capa N°	E [MPa]	μ []	H [m]	Ligada / No ligada	
1	3500	0.35	10	L	<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div>Calcular...</div> <div>Insertar capa...</div> <div>Eliminar capa...</div> </div>
2	600	0.35	18	L	
3	200	0.35	20	L	
4	20	0.45			
5					
6					



CEDEM - Cálculo de Esfuerzos y Deformaciones en Estructura Multicapa					
Archivo Datos Calcular Ayuda					
Datos Información de la Estructura Resultados					
Capa N°	Z [m]	Epsilon T	Sigma T [MPa]	Epsilon Z	Sigma Z [MPa]
1 Ligada	0.00	247.0E-6	1.5601	-139.0E-6	0.5598
	0.05	-128.0E-6	-0.4548	-26.4E-6	0.4313
2 Ligada	0.05	-128.0E-6	0.1285	585.0E-6	0.4313
	0.30	-191.0E-6	-0.1254	233.0E-6	0.0633
3 Ligada	0.30	-191.0E-6	-0.0191	365.0E-6	0.0633
	0.70	-167.0E-6	-0.0464	197.0E-6	0.0071
4	0.70	-167.0E-6	0.0003	364.0E-6	0.0071
5					
6					
Deflexión : 72.48 [mm/100]					
Radio de Curvatura : 144.75 [m]					

El cual nos da el esfuerzo a tracción de $\sigma_z = 7.1 \cdot 10^{-1} \text{ kg/cm}^2 \approx 7.1 \text{ KPa}$.

Se plantea la reducción de granulares y se empieza el análisis de alternativas.

ALTERNATIVA 1

Capa	Espesor	Modulo	Relación Poisson
Carpeta Asfáltica	0.10m	E= 35,000 kg/cm ²	0.35
Base Granular	0.18m	E=6,000 kg/cm ²	0.35
Subbase Granular	0.18m	E= 2,000 kg/cm ²	0.35
Subrasante	CBR = 2%	E= 200 kg/cm ²	0.45

Tabla. #19

Datos de diseño de Carretera con Geotextil para introducir al programa CEDEM

Los resultados obtenidos de la modelación CEDEM son esfuerzo a tracción $\sigma_z = 9.3 \cdot 10^{-2} \text{ kg/cm}^2 \approx 9.3 \text{ KPa}$.

Distribuyéndolo en forma horizontal, el un área plana, obtenemos:
 $9.3 \text{ KPa} \cdot 1 \text{ m} = 9.3 \text{ KN/m}$.

Por lo tanto la Resistencia Requerida es $T_{\text{req}} = 9.3 \text{ KN/m}$.

Se selecciona un Geotextiles 2100 ya que este es útil para separar, estabilizar y lo mas importante reforzar suelos y posee las siguientes características:



Datos del Geotextiles propuesto:

$T_{ult} = 35 \text{ KN/m}$ Resistencia Método de Tira Ancha, Sentido Transversal.
Según Especificaciones del Producto

$FS_{ID,DQB}$ ver tabla 7

$$\begin{aligned} T_{disp} &= T_{ult} / (FS_{ID} * FS_{DQB}) \\ &= 35 / (1.5 * 1.2) \\ &= 19.4 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

Ahora se calcula el Factor de Seguridad Global

$$\begin{aligned} FS_g &= T_{disp} / T_{req} \\ &= 19.4 / 9.3 \\ &= 2 \end{aligned}$$

Pero $2 \gg 1.3$

Como el valor del Factor de Seguridad Global dio un valor muy por encima de 1.3 procedemos a optimizar el diseño proponiendo nuevas alternativas.

ALTERNATIVA 2

Capa	Espesor	Modulo	Relación Poisson
Carpeta Asfáltica	0.10m	$E = 35,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Base Granular	0.18m	$E = 6,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Subbase Granular	0.17m	$E = 2,000 \text{ kg/cm}^2$	0.35
Subrasante	CBR = 2%	$E = 200 \text{ kg/cm}^2$	0.45

Tabla. #20

Datos de diseño de Carretera con Geotextil para introducir al programa CEDEM

Los resultados obtenidos con la modelación CEDEM son esfuerzo a tracción $\sigma = 1.22 * 10^{-1} \text{ kg/cm}^2 \approx 12.2 \text{ KPa}$.

Distribuyéndolo en forma horizontal, el un área plana, obtenemos:

$$12.2 \text{ KPa} * 1 \text{ m} = 12.2 \text{ KN/m}.$$

Por lo tanto la Resistencia Requerida es $T_{req} = 12.2 \text{ KN/m}$.

Se selecciona un Geotextiles 2100 ya que este es útil para separar, estabilizar y lo más importante reforzar suelos y posee las siguientes características:

Datos del Geotextiles propuesto:

$T_{ult} = 35 \text{ KN/m}$ Resistencia Método de Tira Ancha, Sentido Transversal.
Según Especificaciones del Producto



$$\begin{aligned}
 T_{\text{disp}} &= T_{\text{ult}} / (FS_{\text{ID}} * FS_{\text{DQB}}) \\
 &= 35 / (1.5 * 1.2) \\
 &= 19.4 \text{ KN/m}
 \end{aligned}$$

Ahora se calcula el Factor de Seguridad Global

$$\begin{aligned}
 FS_{\text{g}} &= T_{\text{disp}} / T_{\text{req}} \\
 &= 19.4 / 12.2 \\
 &= 1.6
 \end{aligned}$$

Pero $1.6 > 1.3$

Se continúa optimizando el diseño.

ALTERNATIVA 3

Capa	Espesor	Modulo	Relación Poisson
Carpeta Asfáltica	0.10m	E= 35,000 kg/cm ²	0.35
Base Granular	0.17m	E=6,000 kg/cm ²	0.35
Subbase Granular	0.17m	E= 2,000 kg/cm ²	0.35
Subrasante	CBR = 2%	E= 200 kg/cm ²	0.45

Tabla. #21

Datos de diseño de Carretera con Geotextil para introducir al programa CEDEM

Los resultados obtenidos de la modelación CEDEM son esfuerzo a tracción $\sigma = 1.47 * 10^{-1} \text{ kg/cm}^2 \approx 14.7 \text{ KPa}$.

Distribuyéndolo en forma horizontal, en un área plana, obtenemos:

$$14.7 \text{ KPa} * 1 \text{ m} = 14.7 \text{ KN/m.}$$

Por lo tanto la Resistencia Requerida es $T_{\text{req}} = 14.7 \text{ KN/m.}$

Se selecciona un Geotextiles 2100 ya que este es útil para separar, estabilizar y lo mas importante reforzar suelos y posee las siguientes características:

Datos del Geotextiles propuesto:

$$T_{\text{ult}} = 35 \text{ KN/m}$$

Resistencia Método de Tira Ancha, Sentido Transversal.

Según Especificaciones del Producto

$$\begin{aligned}
 T_{\text{disp}} &= T_{\text{ult}} / (FS_{\text{ID}} * FS_{\text{DQB}}) \\
 &= 35 / (1.5 * 1.2) \\
 &= 19.4 \text{ KN/m}
 \end{aligned}$$

Ahora se calcula el Factor de Seguridad Global

$$\begin{aligned}
 FS_{\text{g}} &= T_{\text{disp}} / T_{\text{req}} \\
 &= 19.4 / 14.7 \\
 &= 1.3
 \end{aligned}$$

$1.3 \gg 1.3$ Cumple



Se toma este último como la estructura para el diseño del tramo con Geotextiles T2100.

Δh = Base Granular = 1 cm

Δh = Subbase Granular = 3 cm

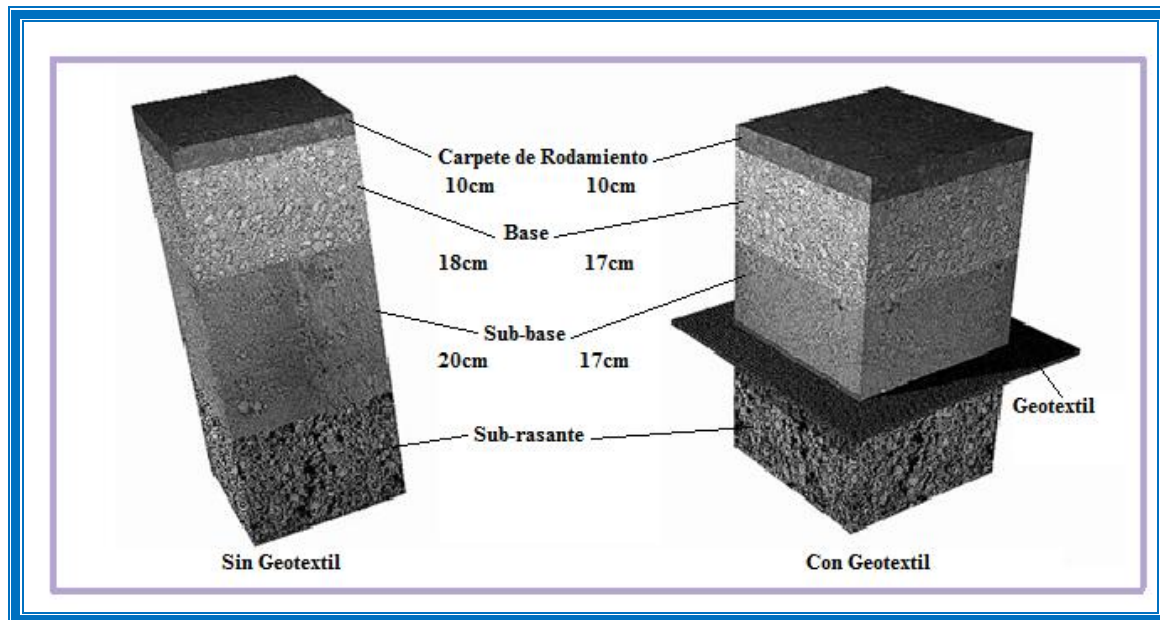


Figura #12

Comparación de espesores Sin Geotextil & Con Geotextil

5.8 Presupuesto de costos

Disminución material de Base Granular: 1 cm

Disminución material de Subbase Granular: 3 cm

Cuantificación del Ahorro por la colocación del geotextil T2100

Base granular compactada en obra: C\$ 363.63 m³

Costo del espesor reducido de base granular = 0.01m x C\$ 363.63/m³ = C\$ 3.63/m²

Subbase granular compactada en obra: C\$ 344.99 m³

Costo del espesor reducido de subbase granular = 0.03m x C\$ 344.99/m³ = C\$ 10.35/m²

El costo de los dos materiales por m² es de: C\$ (3.63+10.35) = C\$ 13.98 /m²

El m² de geotextil T2100 presenta un valor de: C\$ 42/m²

La elevación de costos es de C\$ 42/m² – C\$13.98/m² = C\$28.02/m²

Como se puede notar la elevación de costos es de C\$28.02/m², sin embargo se presume que es menos ya que en el análisis únicamente se está reduciendo el costo del material granular sin tomar en cuenta la disminución de costos al trasladar el material y la mano de obra por el contrario el costo de Geotextil es el estipulado mas transporte aunque en algunos casos las instituciones por la compra dan el transporte y la instalación.



Disminución de espesores al aplicar Geotextil

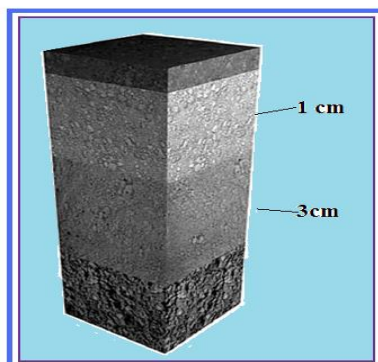


Tabla 4.7 Estructura de la vía sin geotextil

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario (U\$)	Precio Por Capa (U\$)
Carpeta Asfáltica	m ³	---	---	---
Base Granular	m ³	0.18	363.63	65.45
Subbase Granular	m ³	0.20	344.99	68.99
			TOTAL	134.44

Tabla 4.6 Estructura de la vía con geotextil

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario CS	Precio Por Capa CS
Carpeta Asfáltica	m ³	---	---	---
Base Granular	m ³	0.17	363.63	61.82
Subbase Granular	m ³	0.17	344.99	58.64
Geotextil	m ²	---	---	42
			TOTAL	162.46



CAPITULO VI

Conclusiones





6. CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones

La metodología de diseño presentada en este documento permite definir el comportamiento del Geotextil y su influencia en la reducción del espesor de la capa granular de una estructura de pavimento, basada en un análisis de las deformaciones y los esfuerzos que se presentan en cada capa de la estructura y en una teoría de la deformación del geotextil sobre suelos bajo la aplicación de carga.

Con el resultado del análisis podemos determinar que una de las ventajas es la reducción del espesor de la capa granular de 4 cm para lo que se evaluó las diferentes alternativas de diseño al utilizar un geotextil de refuerzo sobre la subrasante, obteniendo así las consiguientes ventajas como las posibilidades del mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares o el incremento de tránsito de diseño o el aumento de la vida útil de la estructura. Entre las desventajas podemos encontrar la complejidad de la metodología de diseño que se basa en el análisis de las deformaciones y los esfuerzos que se presentan en la estructura de pavimento, por lo que se utiliza un método racional de diseño de pavimentos, que en este caso es el programa CEDEM.

El diseño inicial sin geotextil es esencial para definir el aporte estructural y económico del geotextil en el pavimento y las variables que se asumen para el diseño son las mismas que se utilizan en la metodología de refuerzo, por lo tanto se hace una evaluación de las condiciones de cada proyecto para tener una muy buena aproximación de lo que va a ocurrir en la realidad y así tener una alternativa de diseño que funcione correctamente durante el periodo de diseño de la vía.

Para poder justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio, que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar. El uso del Geotextil ayuda en el aspecto económico ya que su disminución de espesores cambia en el presupuesto de costo y se nota que aumenta utilizando Geotextil a C\$28.02/m² sin embargo cabe señalar que en este presupuesto no se toma en cuenta gastos de transporte de materiales, mano de obra por cargar y descargar el material; los cuales ya están incluidos en el precio del Geotextil. Si se toma el mismo espesor y varía el tránsito del tramo a trabajar incorporándole Geotextil se puede notar que la capacidad portante aumenta es decir que podría aumentar el número del tránsito sin afectación alguna o por otro lado dejando el mismo tráfico, el mismo espesor y siempre anexándole Geotextil su vida de servicio aumentaría.

Por lo tanto podemos concluir que en el caso de los 12km de Camoapa-Comalapa el uso de Geotextil podría ser utilizado a favor del aumento ya sea de vida útil o de la capacidad portante o bien como se esperaba para disminución de costos en los espesores de cada capa. La utilización de Geotextil aunque no ha sido de gran provecho en Nicaragua se espera que en los próximos años aumente, ya que ha ido creciendo su demanda en el mercado, conforme se van conociendo las ventajas de dichos productos.



6.2 Recomendaciones

Determinar la utilización o no de un Geosintético es de gran importancia, ya que con un estudio simple podemos valorar si su uso será benéfico para el diseñador o le traerá más gastos y trabajo. Su uso no es de mucha complejidad sobre todo cuando se cuenta con el asesoramiento de los distribuidores o mejor aun diseñadores del producto.

El uso de Geotextiles como refuerzo en vías mejora las condiciones estructurales de los pavimentos mediante un método de diseño racional que involucra la utilización de geotextiles mejorando las condiciones de servicio y operación al mismo tiempo que lograr aumentar la vida útil de la vía.

Para lograr una optimización del uso de Geotextiles debe conocerse antes las características que este tiene, sus propiedades y condiciones de trabajo. Antes de empezar a trabajar con él se recomienda estudiar el caso, analizarlo haciendo una estructura sin el material y luego determinar que tipo de Geotextil es el que se requiere para así evitar confusiones o deterioro prematuro en su uso. En este caso la selección del Geotextil a utilizar fue algo complicado por la similitud que tiende a haber entre los Geotextiles de refuerzo y los de separación y estabilización. Otra de las recomendaciones para el uso de Geotextil seria acatar los parámetros establecidos en el momento de la colocación del material en el sitio; como por ejemplo la limpieza exhaustiva del lugar para evitar el riesgo del punzonamiento o estallido, la sugerencia de dejarle entre 30cm y 60cm a los traslapes, etc. Para que los geotextiles funcionen correctamente en las estructuras de pavimento se requiere un adecuado proceso de instalación. Aunque las técnicas de instalación son simples, la mayoría de los problemas de los geotextiles colocados en las vías ocurren por procesos incorrectos de instalación. Si el geotextil es punzado o rasgado durante la construcción, colocado con numerosas arrugas, cubierto con insuficiente material, presentará deficiencias en su funcionamiento y se producirá un deterioro prematuro de las estructuras de pavimento. A continuación se presentan algunas recomendaciones importantes para el proceso de instalación del geotextil de separación (AASHTO-M 288-05).

- Los rollos de geotextil deben permanecer con sus empaques para que los protejan de la acción de los rayos UV, de la humedad, del polvo y otros materiales que pueden afectar sus propiedades durante el transporte y almacenamiento antes de ser colocados. Cada rollo debe estar marcado correctamente para su identificación y control en obra.
- El sitio de instalación debe prepararse antes de extender el geotextil. La superficie de suelo de subrasante se debe limpiar (levantar la maleza, troncos, arbustos, bloques de roca y otros objetos tirados sobre la superficie), excavar o rellenar hasta la rasante de diseño.
- El geotextil se deberá extender en la dirección de avance de la construcción, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces. Si es necesario colocar rollos adyacentes de geotextil, éstos se deberán traslapar o unir mediante la realización de costura, de acuerdo a este procedimiento.

Tomando muy en cuenta las recomendaciones se lograra un éxito en la utilización de este material como lo es el Geotextil, por tal razón se recomienda su uso como refuerzo, separación y estabilización en vías siempre y cuando se haga un estudio minucioso del caso.



6.3 Limitaciones

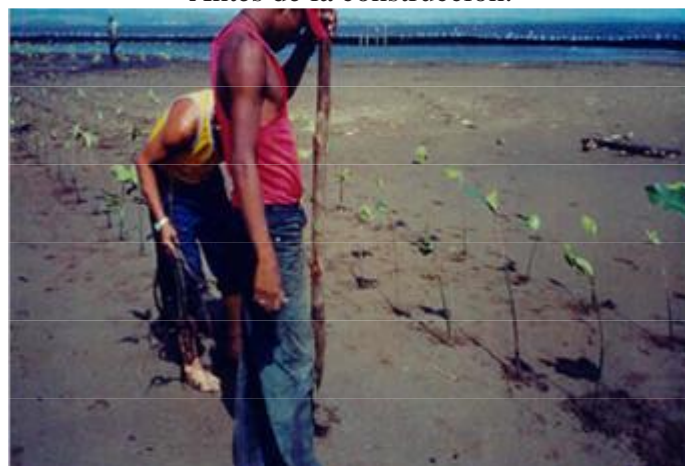
Para la ejecución de este informe se dieron muchas limitaciones, como la falta de información sobre Geotextiles, la complejidad de llegar al tramo en estudio, los datos requeridos para determinar ciertos valores en los cálculos de dimensiones. Sin embargo con mucho esmero y con la colaboración de los distribuidores del material en Nicaragua se pudo llegar al final del diseño, pero cierta información fue imposible suministrarla al lector por ser datos de carácter privado de los fabricantes de Geotextiles.

6.4 Diseños de Geotextiles en Nicaragua

El río Escondido nace en las sierras de Amerrisque en la cordillera Chontaleña y es formado por tres grandes ríos (El Siquia, Mico y Rama), totalizando una longitud de más de 100km. Este río (Escondido), es una de las más importantes vías fluviales en el litoral atlántico de Nicaragua y forma una importante vía de comunicación entre las ciudades y pequeños poblados situados a sus márgenes. Con el objetivo de mantener un canal de navegación compatible con las necesidades de los barcos que navegan por el río, el Gobierno federal de Nicaragua, en el año de 1999, a través de la Empresa Nacional de Puertos (EPN), decidió iniciar trabajos de dragado en la boca del río, en la Bahía de Bluefields. Debido a que el río Escondido es muy ancho, fue necesario el uso de costosos medios operativos para realizar el dragado. Fue decidida entonces la creación de pequeñas islas de 100m de circunferencia, formadas con el material dragado. Para contener este material fueron utilizados troncos de 4 a 6 pulgadas de diámetro, anclados en fondo de la bahía y distanciados de un metro uno del otro. Fue fijada a estos troncos una red de cerco unida a un geotextil no tejido y reforzada con 4 líneas de cables de acero. Para terminar la obra, en las islas fueron sembradas vegetaciones típicas de la región. Las islas hoy se encuentran totalmente consolidadas, vegetadas y sirven como hábitat para un sinnúmero de especies de fauna marina. Es acá donde intervienen los geotextiles dándole una estabilidad completa a las pequeñas islas evitando el deslice de estas.



Antes de la construcción.



Durante la construcción.



Después de la construcción.



6.5 Bibliografía

- Mecánica de suelos
Diseño Estructural, Cap. 2 , Pág. 35
Carlos Crespo
- Diseño de Pavimento Flexible
Método AASHTO para diseño de Pavimentos, Cap. 7, Pag. 109.
Roy Withlow
- Documentos de Geosintéticos
Geotextiles
PAVCO-AMANCO de Nicaragua.
- Alcaldía de Camoapa y Alcaldía de Comalapa
Generalidades del Municipio
- Ministerio de Transporte e Infraestructura
Antecedentes en Nicaragua de Geotextil
- Koerner R. M. Designing with Geosynthetics,
5 ed., USA 2005
- Internet
-www.construccion.com.ni
-www.google.com.ni
-www.marena.gob.ni
-www.ineter.gob.ni
- Monografía
Diseño de Pavimento Rígido en el casco urbano de Jalapa
- Folletos Mecánica de Suelos I y II.

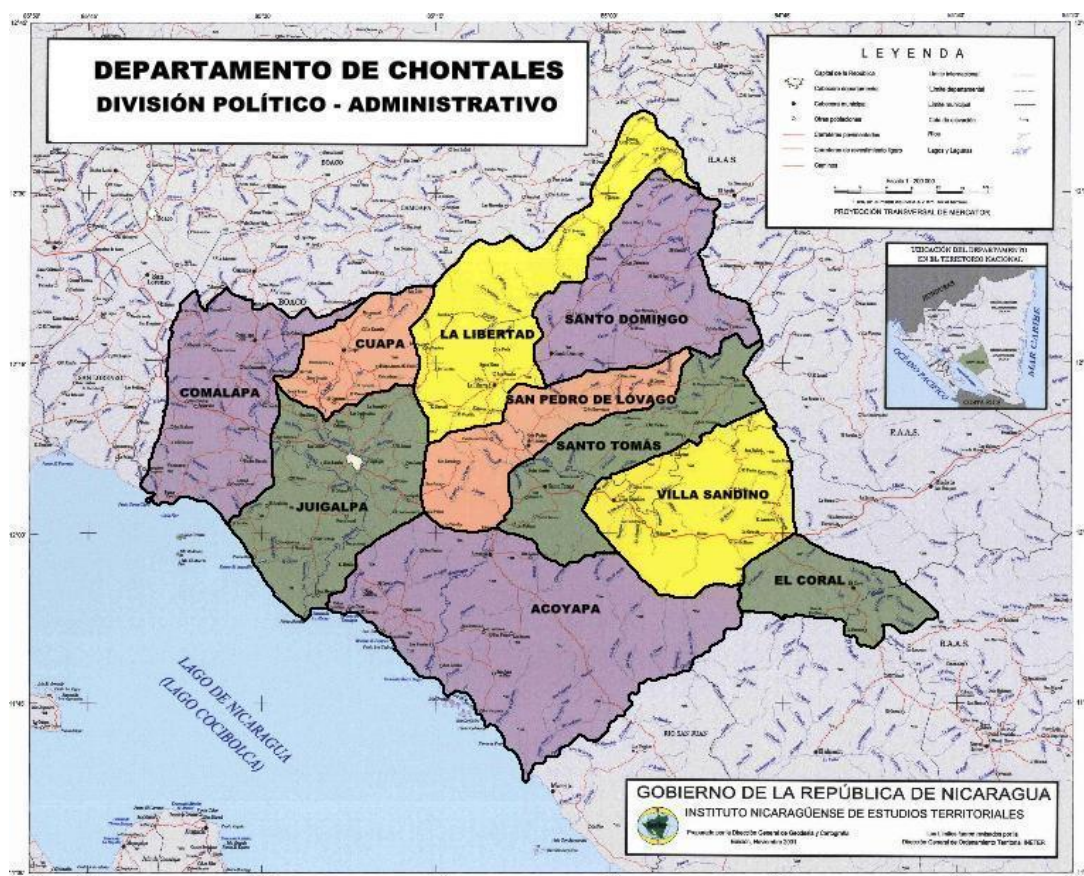


Anexos





A-1 Mapa del Departamento de Boaco



A-2 Mapa del Departamento de Chontales



A-3

**AMANCO
División Geosistemas
Nicaragua**

**Lista de Precios Geosistemas
A partir del 15 de Octubre del 2008.**

Geotextiles

Código	Descripción	Dimensiones del Rollo			Precio de Lista con IVA U\$/m ²
		Ancho	Longitud	Área	
13118	Geotextiles no tejido 1600	4.00	160	640	1.15
13129	Geotextiles no tejido 1800	4.00	150	600	1.33
13135	Geotextiles no tejido 2000	4.00	130	520	1.52
13145	Geotextiles no tejido 3000	4.00	120	480	1.91
13150	Geotextiles no tejido 4000	4.00	130	520	2.58
13156	Geotextiles no tejido 5000	4.00	100	400	2.85
13169	Geotextiles no tejido 400Re	4.00	150	600	1.24
-	-	-	-	-	-
12202	Geotextiles tejido 1050	3.85	200	770	1.06
12203	Geotextiles tejido 1400	3.85	160	616	1.39
12204	Geotextiles tejido 1700	3.85	120	462	1.77
12205	Geotextiles tejido 2100	3.85	100	385	2.10
12207	Geotextiles tejido 2400	3.85	100	385	2.33
12209	Geotextiles tejido TR4000	3.83	100	383	4.27
12212	Ground Cover UV	3.85	100	385	1.16



A-4

<div> <div> GEOTEXTILES TEJIDOS </div> <div> Geosintéticos PAVCO </div> </div>									
	PROPIEDADES	NORMA	UNIDAD	T 1050	T 1400	T 1700	T 2100	T 2400	TR 4000
PROPIEDADES MECÁNICAS	Método Grab Resistencia a la Tensión Elongación	ASTM D-4632	N (lb) %	630(142) 19	960(216) 16	1080(246) 20	1360(306) 21	1590(358) 22	2500(562) 23
	Método Tira Ancha Sentido Longitudinal Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	14 12	24 20	24 16	30 21	35 23	64 27
	Sentido Transversal Elongación	ASTM D-4595	kN/m %	16 13	25 14	29 16	35 17	41 18	64 18
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D-6241	kN	2.5	3.7	3.9	5.3	5.9	9.5
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (lb)	260(58)	301(68)	400(91)	470(106)	550(124)	800(180)
	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D-3786	kPa (psi)	2276(330)	3361(490)	3585(520)	4485(650)	5175(750)	8206(1190)
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D-4833	N (lb)	420(95)	590(133)	640(144)	760(171)	860(194)	1330(299)
	Ros. UV %Ret. @500Horas	ASTM D-4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70
PROPIEDADES HIDRAULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.425(40)	0.425(40)	0.6(30)	0.600(30)	0.600(30)	0.300(50)
	Permeabilidad	ASTM D-4491	cm/s	0.4×10^{-2}	1.8×10^{-2}	1.4×10^{-2}	8.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	4.5×10^{-2}
	Permitividad	ASTM D-4491	s ⁻¹	0.1	0.3	0.2	0.8	0.8	0.5
	Espesor	ASTM D-5199	mm	0.4	0.6	0.7	1.0	1.0	1.3
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero	Fabricante		PP	PP	PP	PP	PP	PP
	Rollo Ancho	Mecido	m	3.85	3.85	3.85	3.85	3.85	3.83
	Rollo Largo	Mecido	m	200	160	120	100	100	100
	Rollo Área	Calculado	m ²	770	616	462	385	385	383
FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL	Separación			==	==	==	==	==	==
	Estabilización			==	==	==	==	==	==
	Refuerzo					==	==	==	==

CONVENCIONES

PP : Polipropileno
ASTM : American Society for Testing and Materials
N.A. : No Aplica

NOTAS

PAVCO S.A. se reserva el derecho de modificar las especificaciones que considere necesarias para garantizar la óptima calidad y funcionalidad de sus productos.

Los valores enunciados corresponden a los promedios estadísticos de los lotes de producción. Valores TÍPICOS.

Los geotextiles son productos fotodegradables, no biodegradables, no deben ser incinerados y se deben disponer en forma adecuada.

Para asesoría en diseño, procesos constructivos e instalación, favor contactar al Departamento de Ingeniería de PAVCO S.A.

Estos productos han sido manufacturados bajo los controles establecidos por un Sistema de Gestión de Calidad que cumple con los requisitos de ISO 9001:2000. El sistema ha sido certificado por BVQI.

Miembro Corporativo

International Geosynthetic Society

Tabla de Propiedades de Geotextiles Tejidos
AMANCO-Nicaragua



A-5


GEOTEXTILES NO TEJIDOS				Geosintéticos PAYCO										
														
PROPIEDADES		NORMA	UNIDAD	NT 1600	NT 1800	NT 2000	NT 2500	NT 3000	NT 4000	NT 5000	NT 6000	NT 7000	REPAV 400	REPAV 450
PROPIEDADES MECÁNICAS	Método Grab	ASTM D-4632	N (g)	450(30)	530(30)	615(30)	730(34)	780(36)	1040(34)	1230(27)	1430(32)	1700(38)	510(15)	580(31)
	Resistencia a la Tensión		%	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50	>50
	Elongación													
	Resistencia al Funcionamiento	ASTM D-4833	N (k)	250(5)	290(5)	350(9)	390(8)	430(7)	590(13)	660(13)	790(17)	950(21)	290(5)	340(7)
	Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	N (k)	190(4)	220(5)	255(5)	300(6)	320(7)	390(8)	430(7)	520(11)	570(12)	210(4)	230(5)
Método Mullen Burst	ASTM D-3786	kPa (psi)	1310(19)	1510(22)	1750(25)	2000(29)	2250(32)	2820(41)	3170(46)	3610(52)	4350(63)	1440(21)	1680(24)	
Resistencia a Estallido	ASTM D-4355	%	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70	>70
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.180(0)	0.190(0)	0.190(0)	0.190(0)	0.125(0)	0.106(4)	0.106(4)	0.106(4)	0.09(1)	N.A.	N.A.
	Permeabilidad	ASTM D-4871	cm/s	42×10^{-2}	36×10^{-2}	37×10^{-2}	36×10^{-2}	35×10^{-2}	31×10^{-2}	35×10^{-2}	30×10^{-2}	27×10^{-2}	N.A.	N.A.
	Permitividad	ASTM D-4871	g^{-1}	3.0	2.4	2.2	2.0	1.8	1.3	1.4	1.0	0.6	N.A.	N.A.
	Espesor	ASTM D-5199	mm	1.4	1.5	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	3.0	3.3	1.3	1.5
	Retención de Aflato	ASTM D-4140	g/m^2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.0	1.1
PRESENTACIÓN	Tipo de Polímero	Fabricante		PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
	Rollo Ancho	Medido	m	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.8	3.8
			m	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	-	-
	Rollo Largo	Medido	m	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	180	150
			m	160	150	130	120	120	130	120	100	80	180	150
Rollo Área	Calculado	m ²	560	525	455	420	420	455	420	350	280	684	570	
		m ²	608	570	494	456	456	494	456	380	304	-	-	
Rollo Ancho Máximo	Medido	m	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	-	-	
FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL	Filtración			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Drenaje			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Protección			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Separación					■	■	■	■	■	■	■		
	Estabilización						■	■	■	■	■	■		
	Refuerzo							■	■	■	■	■		
	Repavimentación												■	■

Tabla de Propiedades de Geotextiles no Tejidos
AMANCO-Nicaragua



A-6

Factores de Carga Equivalente para Pavimento Flexible, Eje Sencillo, Pt=2.*

Carga Axial(kips)	Numero Estructural de Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.04	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	63.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113	108	97	86	81	82

A-7



*Factores de Carga Equivalente para Pavimento Flexible, Eje Doble, Pt=2.**

Carga Axial(kips)	Numero Estructural de Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.250	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.16	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.89	8.03
56	10.04	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0



*Factores de Carga Equivalente para Pavimento Flexible, Eje Triple, Pt=2.**

Carga Axial(kips)	Numero Estructural de Pavimento (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.106	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.458	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.590	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.586	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	10.16	10.14	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.96	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18

*Especificaciones INVIAS basadas en la AASHTO M288-05.

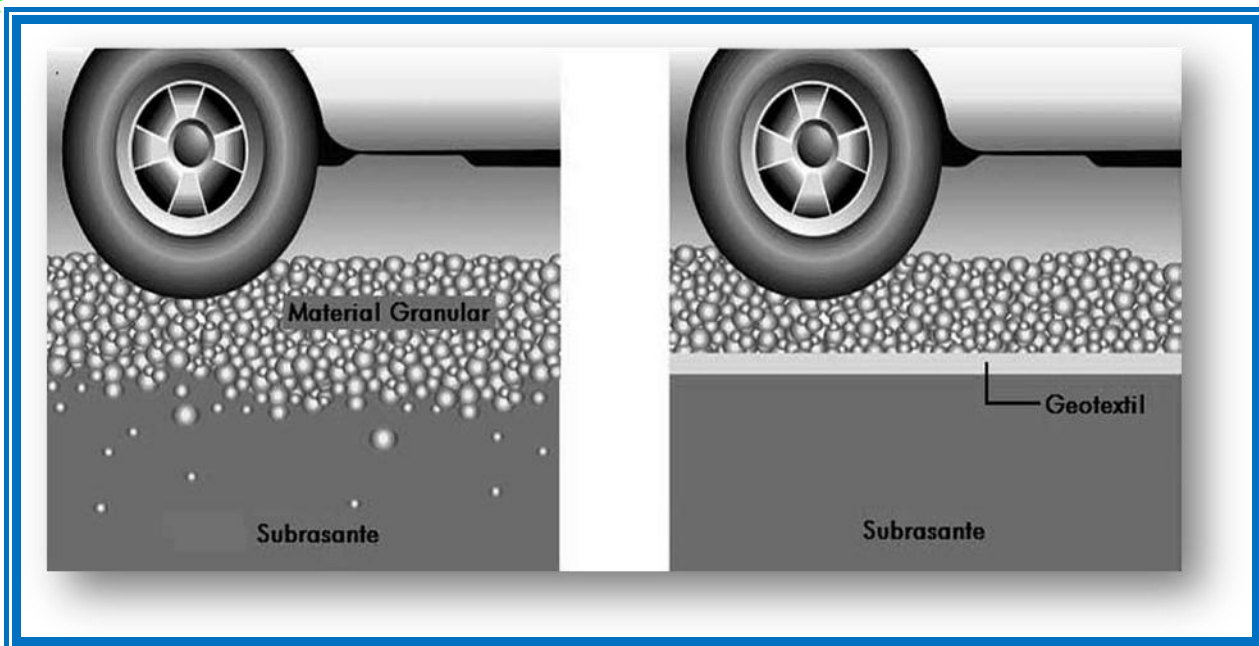


Figura A-9-1 Sección transversal de una estructura de pavimento sin geotextil de separación (Interfaz SR - C. Granular)

Figura A-9-2 Sección transversal de una estructura de pavimento con geotextil de separación (Interfaz SR - C. Granular)

Factor de Seguridad cuando el Geotextil se usa como Separador y Estabilizador.

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_g > 1$$

Factor de Seguridad cuando el Geotextil se usa como Refuerzo.

$$FS_g = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{\text{Resistencia Requerida}} \Rightarrow FS_g > 1.3$$

Donde:

Resistencia Admisible: Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.

Resistencia Requerida: Valor obtenido de una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

$$\text{Resistencia Requerida} = \frac{\text{Resistencia Admisible}}{FS_g}$$



$$T_{adm} = \frac{T_{ult}}{FS_p} \quad (4.1)$$

$$FS_p = FS_{ID} \times FS_{DQB} \quad (4.2)$$

Donde:

T_{adm} = Resistencia admisible para emplear en el diseño.

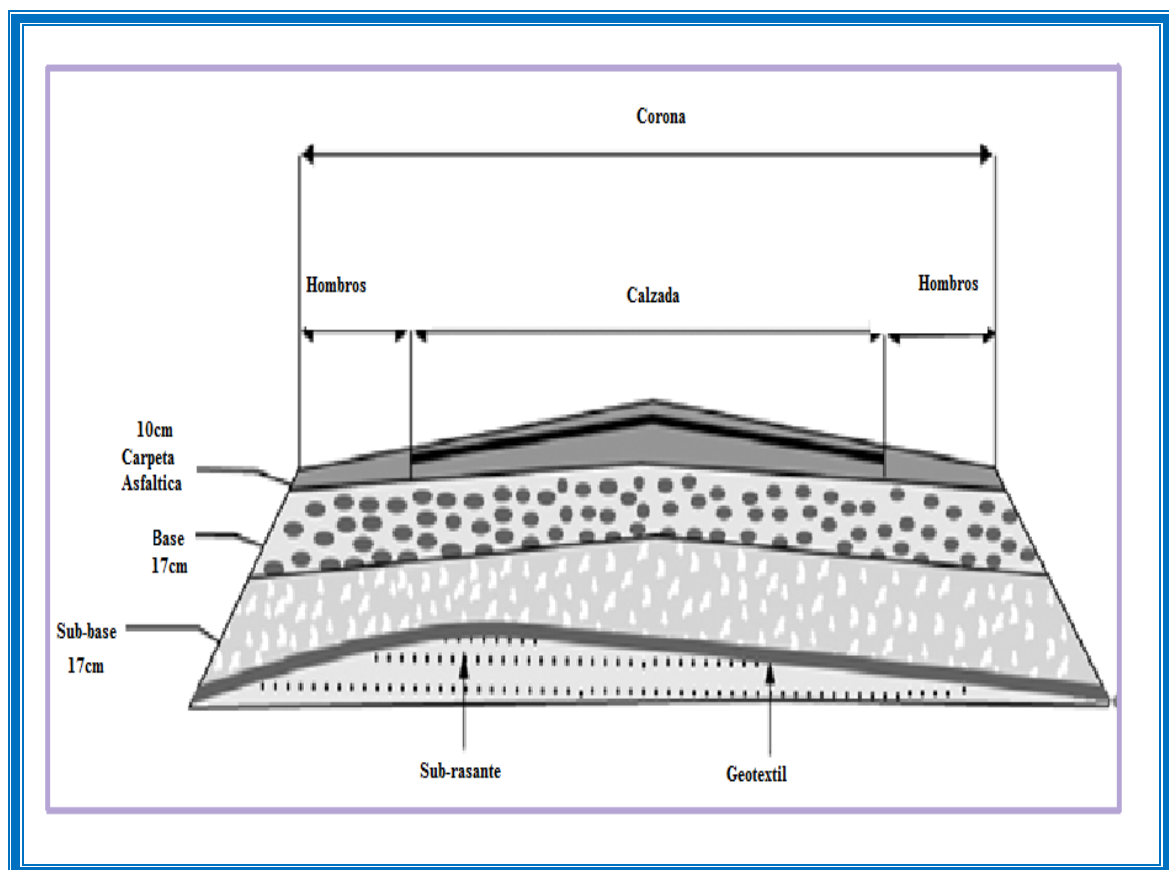
T_{ult} = Resistencia última obtenida en laboratorio.

FR_p = Factor de reducción parcial.

FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación.

FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química y biológica.

A-10



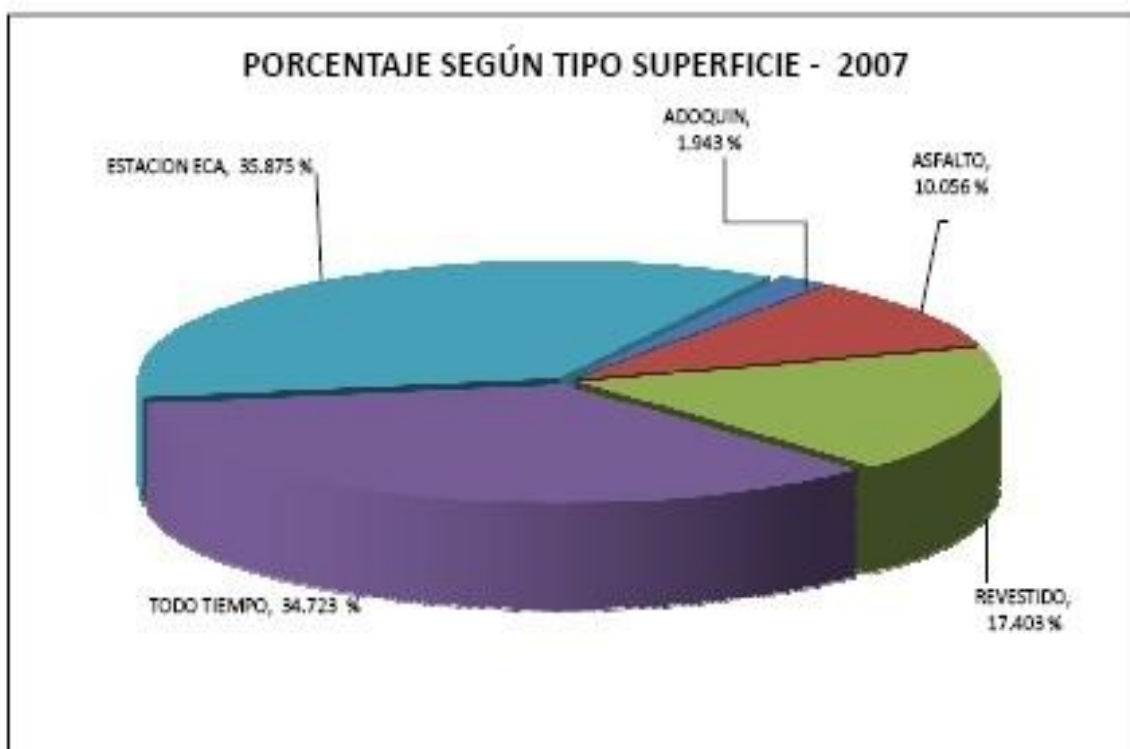
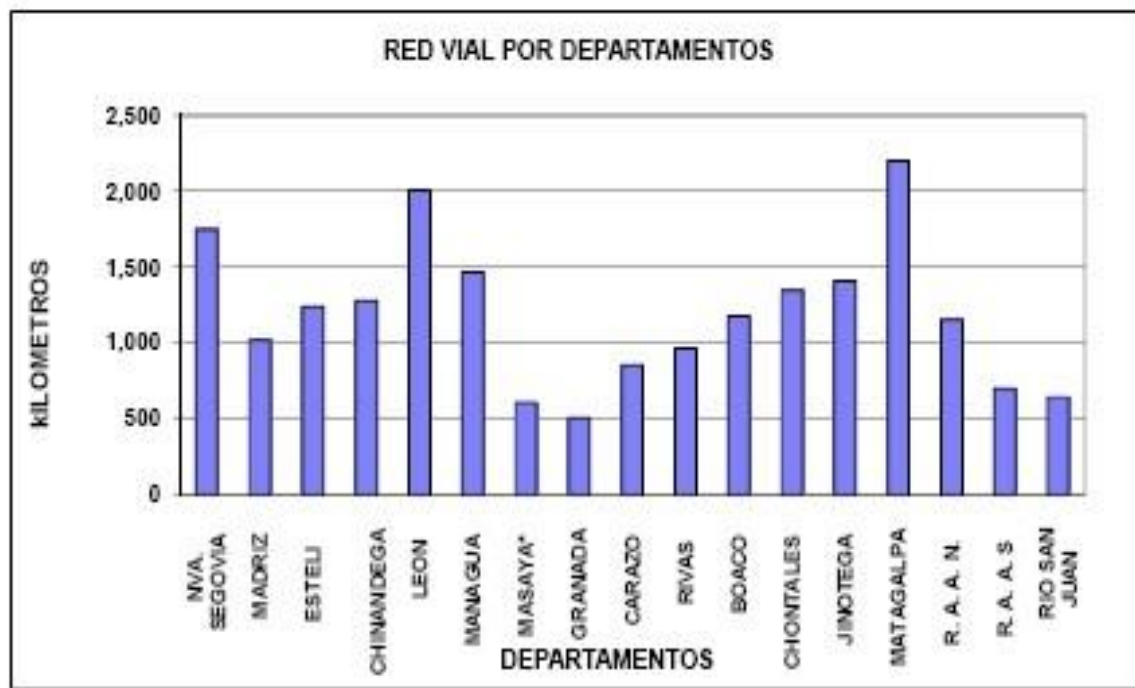
Vista frontal del diseño de carretera con Geotextil



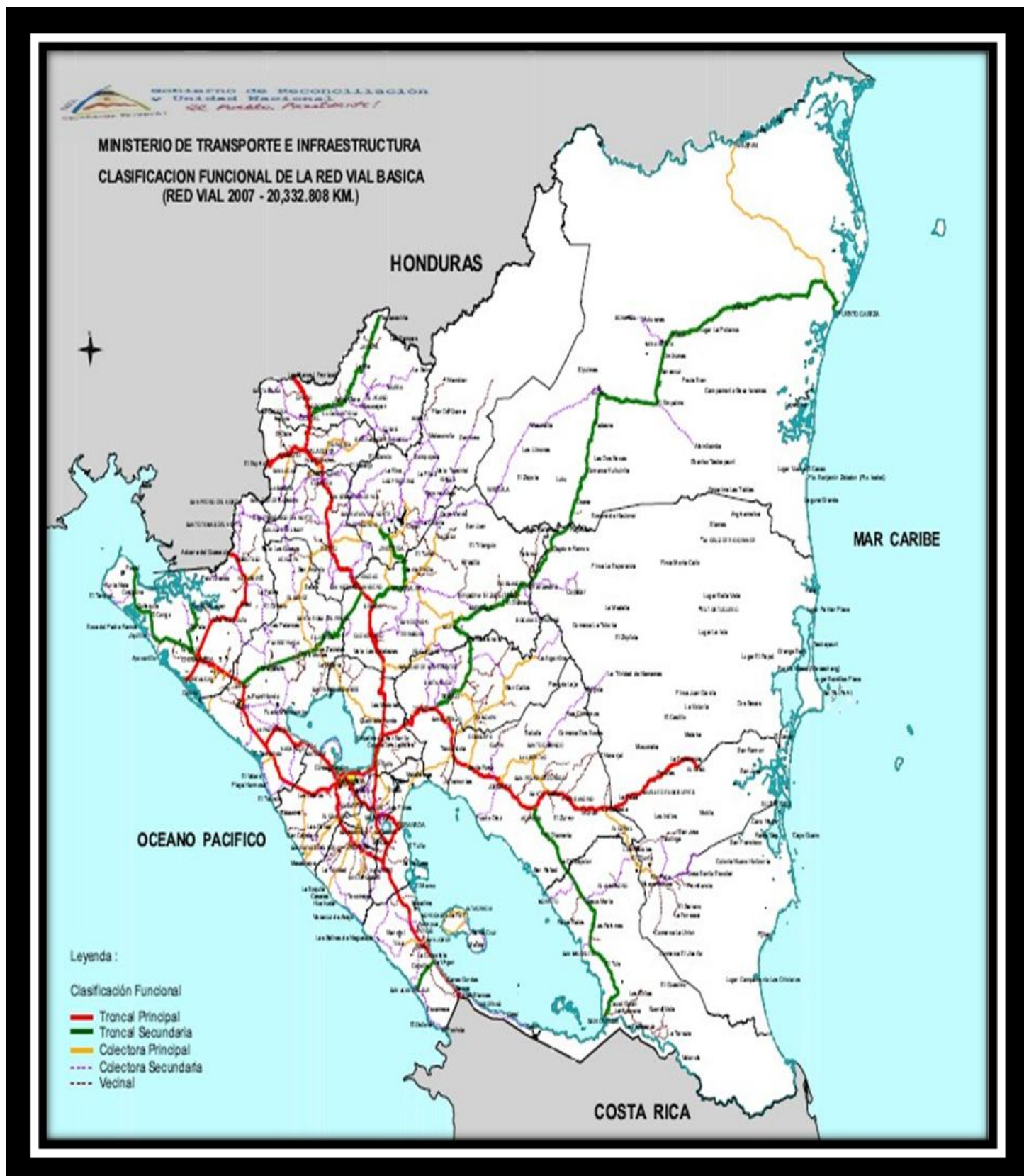
RED VIAL NACIONAL

AÑO 2007

DISTRIBUCION POR DEPARTAMENTO Y TIPO DE SUPERFICIE



A-11



A- 12 Red Vial de Nicaragua



*Foto 1: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 1+000*



*Foto 2: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 3+000*



*Foto 3: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 7+000*



*Foto 4: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 8+000*



*Foto 5: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 9+000*



*Foto 6: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 10+000*



*Foto 7: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 12+000*



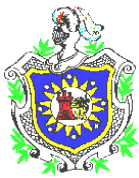
*Foto 8: Camoapa-Comalapa
Estacionamiento 5+000*



Foto 9: Carretera a Boaco



Foto 10: Rollos de Geotextil



Formulas

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (a)(c) + 0.01 (b)(d)$$

Donde:

$$a = \%QP \text{ malla} \cdot 200 - 35$$

Si $\%QP \cdot 200 \leq 35$ entonces $a = 0$

Si $\%QP \cdot 200 \geq 75$ entonces $a = 40$

Si $35 \leq \%QP \cdot 200 \leq 75$ entonces a se calcula.

$$b = \%QP \text{ malla} \cdot 200 - 15$$

Si $\%QP \cdot 200 \leq 15$ entonces $b = 0$

Si $\%QP \cdot 200 \geq 55$ entonces $b = 40$

Si $15 \leq \%QP \cdot 200 \leq 55$ entonces b se calcula.

$$c = LL - 40$$

Si $LL \leq 40$ entonces $c = 0$

Si $LL \geq 60$ entonces $c = 20$

Si $40 \leq LL \leq 60$ entonces c se calcula.

$$d = IP - 10$$

Si $IP \leq 10$ entonces $d = 0$

Si $IP \geq 30$ entonces $d = 20$

Si $10 \leq IP \leq 30$ entonces d se calcula.